



Adapting to Global Change

Mediterranean Forests



Adaptación al cambio global

Los bosques mediterráneos



Adaptation au changement global

Les forêts méditerranéennes

Pedro Regato



Adapting to Global Change

Mediterranean Forests

Page 1

Adaptación al cambio global

Los bosques mediterráneos

Página 79

Adaptation au changement global

Les forêts méditerranéennes

Page 159


Adapting to Global Change

Mediterranean Forests

Pedro Regato

The designation of geographical entities in this book, and the presentation of the material, do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Spanish Agency for Cooperation and Development (AECID), IUCN, WWF or FAO concerning the legal status of any country, territory, or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. The views expressed in this publication do not necessarily reflect those of the Spanish Agency for Cooperation and Development (AECID), IUCN, WWF or FAO. IUCN and other participating organizations disclaim any errors or omissions in the translation of this document from the original version in English into Spanish and French. This publication has been made possible by funding from the Spanish Agency for International Cooperation and Development (AECID).

- Published by: IUCN, Gland, Switzerland and Malaga, Spain
Co-edited by: IUCN, WWF and FAO
Copyright: © 2008 International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
Reproduction of this publication for educational or other non-commercial purposes is authorized without prior written permission from the copyright holder provided the source is fully acknowledged.
Reproduction of this publication for resale or other commercial purposes is prohibited without prior written permission of the copyright holder.
- Citation: Regato, Pedro. 2008. *Adapting to Global Change: Mediterranean Forests*. Malaga, Spain: IUCN Centre for Mediterranean Cooperation. ii+254 pp.
- Report
Collaborators: Mokadem Aissa; Nora Berrahmouni; Cassandra Brooke; Miguel Bughalo; Jose Antonio Carreira; Froylan Castaneda; Marco Conedera; Bruno Fady; Christos Giannakopoulos; Paul Grigoriev; Dionisia Hatzilacou; Lourdes Hernández; Habib Kachouri; Sedat Kalem; Petros Kakouros; Nikolaos Kasimis; R. Alexander Kastl; Zoi Katsioti; Mouna Khaznadar; Hala Kilani; Constantinos Liarikos; Giannis Mahairas; Tahar Mahdid; Nera Markovic; Alexa Morrison; Henry Neufeldt; Tuncay Neyisci; Aristotelis Papageorgiou; João Pinho; Kalliopi Radoglou; Ioannis Raftogiannis; Francisco Rego; Beatrice Riche; Carole Saint-Laurent; Rami Salman; Christoph Stein; Aram Ter-Zakaryan; Alejandro Valdecantos; Daniel Vallauri; Theoharis Zagkas; Katalin Zaim; Draganica Zaja.
- ISBN: 978-2-8317-1098-3
Translation/revision: Simon Beswetherick, Nora Berrahmouni, Isabel Moyano, Martin Paulin, Pedro Regato, Rami Salman, Alexandra Salmon-Lefranc.
- Legal Deposit:
Design by: Chadi Abi Faraj
Cover photo: Pedro Regato
Produced by: IUCN Centre for Mediterranean Cooperation
Printed by: Solprint, Mijas (Malaga), Spain
Available from: IUCN Centre for Mediterranean Cooperation
C/ Marie Curie 35
29590 Campanillas, Malaga, Spain
Tel: +34 952 028430 - Fax: +34 952 028145
<http://www.iucn.org/publications>

This book is printed on  paper

Index

Preface	5
1- Introduction	7
2- Global Warming Trends	9
□ Current Evidences of Climate Change in the Mediterranean Region	10
□ Predicted Climate Change Trends in the Mediterranean Region	14
3- What Can We Learn from Past Climate Changes to Tackle Future Changes?	19
□ Species Migration Responding to Past Climate Changes	19
□ Species In Situ Adaptation to Past Climate Changes	24
4- Current and Forecasted Climate Change Impacts in Mediterranean Forests	27
□ Ecological Changes	27
□ Large-Scale Forest Fires	33
□ Forest Dieback	36
□ Forest Pests	36
□ Invasive Species	36
5- Adaptation to Climate Change	39
□ What is Adaptation?	39
□ Forests and Climate Change Adaptation	40
□ Adaptation Options for Mediterranean forests	42
□ Adaptation to Increase Social Resilience	52
□ Capacity-Building Adaptation Needs	57
□ Institutional and Policy Frameworks to Support Adaptation Options	64
6- Annex: Athens Statement	71
Bibliography	245

Preface

Forests figure prominently among the most important ecosystems of the Mediterranean; they are very rich in biodiversity and provide a variety of environmental services. Rapid and abrupt land-use changes, due to poor management techniques including overexploitation, development and international market pressures, natural habitats' degradation and loss, and pollution, are only a few of the main factors impacting upon Mediterranean forests and provoking their degradation. Once climate change is added to these factors, accompanied by extreme weather events like heat waves, torrential rainfall, drought periods and strong wind storms, the resilience and adaptation capacity of forests is drastically reduced.

Large scale forest wildfires are among the most direct and immediate consequences of climate change affecting Mediterranean forests. Climate change impacts combined with land use changes and the mismanagement of forests enhance the increase of frequency, intensity and extent of fires. This trend was mainly observed in the northern shores of the Mediterranean region (e.g. Portugal, southern France, Spain, Italy and Greece) during the last two decades. If these conditions are prevalent in the southern areas of the Mediterranean, the consequences regarding the forest ecosystems of the entire region will be dramatic.

Tackling climate change is a top priority for the regional governments, research institutions and international organizations working in the region. IUCN, WWF and the conservation community at large are embarking on forest-related climate change work, including among other issues, developing adaptation strategies to manage the uncertainties created by climate change and building ecological and social resilience.

The IUCN Centre for Mediterranean Cooperation (IUCN-Med), the WWF Mediterranean Programme Office and the WWF Greece Organisation brought together member organisations, partners and experts in a regional workshop entitled "Adaptation to Climate Change in Mediterranean Forest Conservation and Management", which took place in Athens (Greece) on 14-17 April 2008. During the workshop, participants from regional NGOs, research institutions, governmental and intergovernmental organizations, as well as forest and

protected areas managers, analysed needs and opportunities to increase forest and social resilience in the light of global change. The climate change predictions for the region were discussed and climate change adaptation strategies and tools that have proved to be successful in other areas were introduced.

The workshop participants prepared a joint statement (The Athens Statement included as an annex in this publication) urging all Mediterranean countries to jointly develop, assess the effectiveness, and fine-tune climate change risk reduction and adaptation strategies and tools. The Statement also expressed the urgent need for north-south cooperation in the region.

The workshop was co-sponsored by IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, WWF Mediterranean Programme Office, as well as the A.G. Leventis, I.S. Latsis and Bodosakis Foundations, which fund WWF Greece “Forests for the Future” programme.

This publication represents a first step for developing a joint programme of work and strategy on Mediterranean forest adaptation to climate change, including the input of international organizations like FAO, UNDP, GTZ, WWF and IUCN, partners and member organizations, forest managers and users, governments, research institutions and the private sector.

This publication has been prepared with the financial support of the Spanish Agency for International Cooperation and Development (AECID).

1 | Introduction

Ecosystems are dynamic systems permanently adapting to environmental changes. The Mediterranean forest ecosystems have gone in the past through numerous changes in climate, providing different responses (tolerance to the environmental change due to the phenotypic plasticity of certain species; adaptation through evolutionary processes with the appearance of new species, subspecies or genotypes; migration to suitable places; extinction). The important number of Tertiary relic species and palaeo-endemic species in the Mediterranean forests is an evidence of their capacity to adapt to sharp environmental changes and still persist through millennia. Nevertheless, there are also evidences of the rapid collapse of tree species and forest ecosystems at a local and regional level, mainly due to past global changes (the combination of past changes in climate and human impacts). Good examples of that are evidences of local and regional fire-caused disappearances of entire forest communities and tree species as a combination of Holocene climate changes and the Neolithic fires intentionally set up to convert forests into arable and grazing land (Tinner et al, 2005; Carrion, 2003).

The forecasted rapid and intense changes in climate conditions over the next 100 years are expected to induce significant impacts on the Mediterranean forest ecosystems. Since human impact is high in this region, the regional forests will be especially sensitive to future environmental changes, and their consequences. For instance, the mentioned palaeo-ecological data suggest that if fire frequencies should increase substantially in the Mediterranean region in response to forecast climatic changes (this was already the case in the European part of the region during the last two decades) vulnerable forest ecosystems, such as the varied endemic mountain conifer forest types, would be severely endangered. Therefore, Mediterranean forest conservation and management policies and practices should help implement adaptation strategies that are useful to stop and reverse the current environmental degradation trend and at the same time reduce the risk of unacceptable losses in the future.

2 | Global Warming Trends

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report (Solomon et al, 2007) provides more reliable projections on future climate change, with new findings and progress in understanding climate change drivers, processes and projected future trends. There is *very high confidence*¹ that the global average effect of human activity since 1750 has been one of warming of the climate system, with the industrial era seeing the highest increase rate of the last 10,000 years. Most of the observed increase in global average temperatures since the mid-20th century is *very likely*² due to anthropogenic greenhouse concentrations.

Greenhouse gases	Atmospheric concentration	Growth rate	Primary source
Carbon dioxide	Far exceeds the natural range over the last 650,000 years as determined from ice cores	Larger annual growth rate during the last 10 years	Fossil fuel use and, to a lesser extent, land-use change
Methane			Agriculture and fossil fuels, although the relative contribution from different sources is not clearly established
Nitrous oxide	Considerably increased from a pre-industrial value	Constant growth rate since 1980	More than a third of all N ₂ O emissions are due to agriculture

Overall, the global average temperature has increased 0.76°C (from 0.57 to 0.95°C) since 1850, and 11 of the last 12 years (1995-2006) rank among the 12

1 9 out of 10 chances of being correct.

2 Up to 90% probability.

warmest years since then (Kettunen et al., 2007). The IPCC Fourth Assessment considers projected warming of about 0.2°C per decade for the next two decades, and most scenarios show increases of more than 2°C in annual temperature by 2080 compared with average temperatures of 1960-1990 (Lindner, 2006).

As far as precipitation is concerned, although changing patterns have been observed, there is still considerable regional and seasonal variance between different model projections, resulting in a high degree of uncertainty. There is a tendency for humid areas to become more humid and for dry and arid areas to become even drier (Lindner, 2006).

The IPCC Fourth Assessment report highlights the major long-term changes observed:

- Artic temperature and ice changes.
- Widespread changes in precipitation amounts, with drying trends in the Sahel, Mediterranean, southern Africa and southern Asia.
- Ocean salinity changes.
- Wind pattern changes, with the strengthening of mid-latitude westerly winds in both hemispheres.
- Extreme weather changes including more intense and longer droughts over wider areas since 1970; more frequent heavy precipitation events over most land areas; more frequent heat waves; and increased intensity of tropical cyclones.

Current Evidences of Climate Change in the Mediterranean Region

The Mediterranean region has a genuine warm/dry summer climate type in a transitional zone between two markedly different zones (the humid/cold temperate zone and the hot desert zone) and, consequently, is highly sensitive to environmental changes. Indeed, shifts in the climate band of only few degrees of latitude towards the north or south may result in dramatic changes, such as desertification in areas which previously had a humid climate (Ortolani & Pagliuca, 2006).

Assessments undertaken by the IPCC (Solomon et al, 2007) and the European Environmental Agency concluded that human-induced climate change is already having a significant detrimental impact on species and habitats worldwide, and is

likely to be the most profound threat to global biodiversity. Projected changes must take into account the impact of past, present and future human disturbances on the natural ecosystems, which have considerably reduced their resilience to climate change. Especially vulnerable are the Mediterranean ecosystems in islands, drylands and mountains.

The WWF-sponsored study “Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise” (Giannakopoulos et al., 2005) presents evidence for climate change during the last half of the 20th century, with winter and summer warming in large parts of the region and a statistically significant decrease in precipitation. These trends, however, differ across sub-regions and periods. We highlight the following findings:

- An annual warming trend for the 20th century of 0.75°C, with slightly higher values in winter and summer (Giorgi, 2002);
- A clear east-west differentiation: the summer warming trend is more significant in the western part (up to 3°C/50yr), registered in two phases: from the mid-1920s to 1959 and from the mid-1970s onwards (Brunet et al., 2002; Galan et al., 2001)
- Long-term trends towards winter precipitation decreases (a decrease of about 20%, mostly since 1970) from 1900-2005 have been observed in the Mediterranean basin, a region where rainfall is a major limiting factor for organisms (Solomon et al, 2007; Petit et al., 2005; Giorgi, 2002). Jacobeit (2003) showed, for the last three decades, some rainfall increases in autumn (western Iberia and southern Turkey), but dominating decreases in winter and spring.
- A negative trend in the number of wet days and a tendency towards a more intense concentration of rainfall in some Mediterranean coastal areas, essentially in Spain and Italy.
- An increase in day/night temperature differences: maximum temperatures have increased at larger rates than minimum temperatures.

There is high confidence that a number of weather anomalies and environmental changes occurring in the Mediterranean region in recent decades have been caused by global warming. We will present a number of key findings affecting the Mediterranean terrestrial systems, which can be considered human-induced climate change effects.

□ Glacier retreat

Mediterranean continental Spain³

The few existing glaciers in Spain, on the southern side of the Pyrenees, are melting fast: in 1980 there were still 27 Pyrenean glaciers, falling to 10 by 2000. The total surface area has dropped from 1,779 hectares in 1894 to 290 in 2000, representing a decrease of 85% of surface area. 52% of this has occurred in the last 20 years, and 30% between 1991 and 2001. Current trends predict that by 2005 glacier surface area could be as low as 65 hectares and just 9 hectares by 2050, with the ice finally succumbing somewhere between 2050 and 2070.

Mediterranean Turkey

Two-thirds of present-day glaciers in Turkey are concentrated in the central-eastern Taurus Mountains. Available data on Turkish glaciers indicate that the most recent glacier retreat probably started at the beginning of the 20th century, gaining in speed since the 30s (Çiner, 2003).

□ Extreme Climatic Events

Extreme events are the real challenge in climate change, and are probably the most important drivers of ecosystem change. Moreover, extreme climatic events also cause carbon flux anomalies with significant atmospheric CO₂ rises. Globally, the year 2003 is associated with one of the largest atmospheric carbon fluxes recorded since 1980. In that year, Europe experienced a considerable increase in carbon flux from the land to the atmosphere, associated with an exceptionally dry and hot summer in the western and central regions (Jones & Cox, 2005).

Heat waves

Temperature records confirm an increase in the intensity and frequency of summer heat waves (short periods with very hot days, very low air humidity and frequently with strong winds) and a reduction in the frequency of cold spells (short periods of very cold days) in the last three decades. Heat waves are a sub-regional event, not occurring at the same time, or even in the same year, in the different parts of the Mediterranean⁴.

3 Information from: <http://www.iberianature.com/material/glaciers.htm>

4 The Portuguese Fourth National Communication to the UNFCCC (2006) reports that heat waves are now more common in continental Portugal, where the highest frequency of heat waves was recorded during the 1990s. There were particularly long and widespread events in 1981, 1991 and 2003, and two heat waves occurred in quick succession between late May and June 2005.

Drought

Drought is a natural phenomenon in the Mediterranean region, mainly due to its irregular climate with the periodic extension of the typical lower summer precipitation over longer periods. In the western Mediterranean, drought periods are associated with the blocking effect of the North Atlantic subtropical high pressure fronts, which prevent polar fronts from reaching the Iberian Peninsula.

However, drought frequency and intensity have increased in recent decades and it is projected that they will become even worse in the light of global climate change, rising temperatures and decreasing precipitation. The drought of 2005 was severe for several parts of north-western Europe (e.g. large parts of the UK and France), but was worse in the Mediterranean region, affecting almost all of Portugal, Syria, Egypt and Libya, as well as large areas of southern and eastern Spain, northern Italy, central Anatolia, and eastern Morocco (Isendahl & Schmidt, 2006).

According to The Portuguese Fourth National Communication to the UNFCCC, drought was most severe in 91/92, 92/93, 94/95, 98/99, 99/00 and 04/05. Precipitation values in January 2005 in the central and southern regions were lower than the minimum values observed for as long as 100 years.

Terrestrial ecosystems seem to respond to droughts with an increased carbon flux to the atmosphere caused by a drop in the gross primary production (carbon sink) in comparison with ecosystem respiration (carbon source). A multi-model comparison study suggest that land ecosystems in western Europe released additional carbon into the atmosphere in response to the drought in 2003 relative to baseline (1998-2002) (Vetter et al., 2007). Moreover, a number of studies suggest that the effects of a large-scale drought could be detected in ecosystem carbon fluxes for at least 3-5 years after occurrence of the event. Thus, understanding the response of ecosystems to large-scale drought events is an important issue, particularly given that such events are projected to occur more frequently and with more intensity in the future, and that the periodicity of large-scale droughts may become much shorter (e.g. European ecosystems experienced drought again in 2005), limiting the recovery of ecosystems which will most likely take longer, and increasing carbon emissions over longer periods of time.

Heavy storms

Another type of storm made its first appearance on the Iberian Peninsula in 2005: Europe's first hurricane – Hurricane Vince – hit the south-western coast

of Spain in October. It was the farthest north-east tropical storm that had ever developed in the Atlantic and it developed over water that was thought to be too cold to be able to support a tropical storm. Following Hurricane Vince, the tropical storm Delta hit the Canary and Madeira Islands in November 2005, leaving behind severe damage, power outages and fatalities. However, scientists cannot yet say whether there is a relationship between such unusual storms and climate change (WWF, 2006).

Predicted Climate Change Trends in the Mediterranean Region

In spite of the uncertainty over projected regional climate changes, there is a broad consensus on a number of general trends in Europe and the Mediterranean basin as a whole, a region which is expected to be more strongly affected by ongoing global climate change than most other regions on Earth (McCarthy et al, 2001). In fact, all the Mediterranean climate regions are expected to experience significant temperature and aridity increases compared to other regions (McCarthy et al, 2001).

□ Temperature

Agreement between models about temperature change trends is greatest for winter temperatures in southern Europe while disagreement is greatest over summer temperatures. Nevertheless, all models show a general warming trend in the whole of Europe, in all seasons. Kettunen et al. (2007) summarised the following temperature projections for Europe based on the IPCC 2001 report and the Impacts of Europe Changing Climate Report (EEA, 2004)⁵:

- The annual temperature will change by between 0.1-0.4°C per decade in Europe, with greatest warming in southern Europe.
- The pattern of warming in summer displays a strong south-to-north gradient, with southern Europe warming at a rate of 0.2-0.6°C per decade while the northern European rate will be considerable lower at 0.08-0.3°C.
- Winters classified as cold become much rarer by 2020 and disappear almost entirely by 2080, while hot summers become much more frequent.

Giannakopoulos et al (2005) summarised the following projections based on two climate change scenarios for the Mediterranean region:

5 http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en

- In both scenarios, there will be an average rise in the daily mean temperature of 1-2°C along the coast of France (thermal inertia of the sea), and 2-3°C inland. The average rise is larger for the maximum temperatures than for the minimum temperatures, a fact which seems particularly evident in the Iberian Peninsula.
- Mean and maximum temperatures will undergo a notably larger rise in summer and inland (up to 4°C) and a slightly larger rise in autumn (2-3°C), with a rise of less than 2°C in winter and spring.
- The number of hot days ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) and summer days ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) will increase differently according to sub-regions too: the highest rise will be inland, where there will be one month more of hot days and one month more of summer days; the Middle East and Iberian coastal areas will see a slightly higher increase with 1-3 additional weeks of hot days and 2-3 additional weeks of summer days; the central coastal areas will only have one additional month of summer days and the islands of Cyprus, Corsica and Sardinia about 2 additional weeks of summer days.
- The number of frosty nights ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) will fall by 1-2 weeks along the coast and by up to one month inland, while the number of very cold nights ($T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$) will see a slight decreasing trend. It seems there will be a 50% decrease in the number of coldest days, mainly in the south-eastern part of the region.
- In terms of temperatures, the hottest regions will be Turkey, the Balkans, the Iberian Peninsula, Northern Italy and the Maghreb, while the coolest places will be Cyprus, Sicily and Sardinia.

□ Precipitation

In spite of considerable differences between model projections with respect to changes in precipitation, the Impacts of Europe Changing Climate Report (EEA, 2004)⁶ has predicted an annual precipitation decrease of up to 1% and a summer rainfall decrease of up to 5% per decade in southern Europe. The winter season may become wetter in Europe, with the exception of the Balkans and Turkey, where winter will become drier (Kettunen et al., 2007).

Precipitation is also the parameter that exhibits the largest differences between the two scenarios considered by Giannakopoulos et al (2005):

6 http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en

- Annual rainfall, in the northern part of the region, seems to increase slightly in one scenario while a 0-10% drop is predicted in the other one; in the southern part of the region and Spain a drop in rainfall of 0 to 20% is predicted according to scenarios.
- Summer precipitation will decrease, except in the south-eastern part of the region (including southern Turkey) where a small increase is expected.
- Small decrease or no change in rainfall in the other seasons is expected, except in the northern part of the region, where winter precipitation would appear to increase and the south-eastern part of the region where a larger winter rainfall decrease is expected.
- An increase in the number of dry days ($PP < 0.5$ mm) is expected almost everywhere, ranging from one month more dry days in the Iberian Peninsula, 3 weeks inland (southern France, the Balkans, Turkey and Italy), 2 to 3 weeks in the Maghreb (Morocco, Algeria and Tunisia), about 2 weeks along the coast, just a few extra dry days in the Middle East, Libya and Egypt, and a slight decrease in Cyprus.
- Precipitation intensity with heavy rain days will increase in the northern part of the region (southern France, Italy, western Greece and the northern Iberian Peninsula) while, in the southern part of the region, this would appear to decrease.

Despite the considerable uncertainties about changes in precipitation, a substantial increase in water deficit is expected, driven more by increased temperatures than by reduced precipitation (Ohlemüller et al., 2006).

□ Extreme weather events

Many experts agree that extreme climate events are probably the most important drivers of ecosystem change (Lindner, 2006). Kettunen et al. (2007) summarized the following predictions for Europe:

- It is very likely that frequencies and intensities of summer heat waves will increase throughout Europe and the Mediterranean region as a whole.
- Intense precipitation events will increase in frequency, especially in winter.
- Summer drought risk will increase in southern Europe.

Giannakopoulos et al (2005) projected the following changes:

- An additional 3-5 weeks of heat waves in Spain, the Middle East, Turkey, the Balkans, North Africa and northern Italy, 4 weeks more on the islands of the northern Aegean Sea, and a moderate influence or no significant change on the rest of islands, in southern Italy and in the Peloponnesus.
- Longer dry spells will be common with an increase of 2-4 weeks in southern Italy, the Peloponnesus, the southern part of the Iberian Peninsula, Morocco and Libya, while in the south-eastern part of the region and Algeria no changes are expected. An extension of the dry season towards spring of about 3 weeks is expected in southern France and central Spain, while a general shift towards autumn of 2 to 4 weeks is expected in the central and eastern parts of the region, and no changes are expected in southern Italy/Sicily. Incongruent patterns emerged in the scenarios for southern Spain, the Maghreb and continental Greece.

3 | What Can We Learn from Past Climate Changes to Tackle Future Changes?

Studies of the consequences of past climate changes on biodiversity represent one of the best sources of data for validating the ecological and evolutionary consequences of future changes predicted by models (Petit et al., 2005). Plants are well represented in paleo-remnants and therefore represent valuable data for past climate analysis.

Climate has changed on all time scales throughout Earth's history. There are strong indications that warmer climate, with greatly reduced global ice cover and higher sea levels, prevailed until around 3 million years ago (Solomon et al, 2007). Since the beginning of the Quaternary (2 million years ago) only few periods seem to have been as warm as the present one (and probably warmer) (i.e. the last interglacial period about 125,000 years ago). Therefore, the current human-induced warming may be the warmest ever experienced during the Quaternary. In addition to this, we highlight the following facts that may adversely influence the response of vegetation to climate change:

- Environmental conditions have changed greatly due to human alteration of landscapes (intense fragmentation and degradation of pristine habitats), which have increased xeric environmental conditions and reduced ecosystem resilience (micro-climate conditions minimising the effect of the external environment), in addition to creating more barriers to dispersal. These facts will exacerbate the warming effect of climate change on nature.
- The very fast rate of present warming with no comparable similar speed in the past may have consequences on the ability of species and ecosystems to respond.

Species Migration as a Response to Past Climate Changes

Pollen assemblages show pronounced, rapid responses (0–20 yr) of terrestrial vegetation to past climatic changes, with the sudden collapse of a number of species, accompanied by rapid expansion of others. As far as the migration capability of tree species is concerned, past climate change records demonstrate that trees were able to spread quickly after the last Ice Age, with truly remarkable

migration rates (between 150-500 m/yr, and exceptional rates of 2,000 m/yr being reported in *Alnus* spp. (Huntley, 1991; Clark, 1998). Ohlemüller et al. (2006) predict in their climate change risk scenarios for 2100 in Europe that tree species may need to migrate between 1,400 m/yr and 3,800 m/yr in certain regions, a migration rate which is much higher than those defined for most European tree species in post-glacial times. This might pose a problem for tree species dispersal, at least for species which do not tolerate temperature changes of more than $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Nevertheless, the velocity of spread may be overestimated by traditional interpretations of the few pollen records from which extrapolations have been performed for large territories. New fossil and molecular genetic evidence demonstrates that Glacial populations of many species were more abundant and widely distributed at different latitudes (Figure 1), and therefore migration distance could have been much shorter than previously thought (Clark et al., 2003; McLachlan et al., 2005). The high heterogeneity of the Mediterranean landscapes, where a varied range of environmental conditions and a large ensemble of tree species and habitats with different optimum bioclimatic requirements are found within a very small area, may help considerably reduce dispersal distance requirements.

In fact, large parts of the Mediterranean territories are formed by heterogeneous complex landforms, where we may expect an *in-situ* reorganization of most species in the landscape where multi-species interactions and different



Figure 1: Refugia for temperate tree taxa in the Mediterranean Peninsulas during the last full-glacial period (100-16 kyr) (From Willis & Niklas, 2004).

succession mechanisms (facilitation, tolerance and inhibition) will give rise to changes in the dominance/abundance of the different tree species and communities. Tree species growing at higher altitudes in particular (i.e. the Oro-Mediterranean conifer tree species) may have long-distance dispersal requirements which may be impossible without human support. Nevertheless, the upward dispersal of Oro-Mediterranean tree species may be favoured by the fact that the current timberline appears at lower altitudes (up to 300 m) than the potential timberline, due to historical upland grazing practices.

Accepting the fossil tree fast-dispersal hypothesis, the rapid spatial spread of ecologically similar species in a given landscape during past climate changes has been seen as a paradox by a number of researchers, especially in the case of close competitor species⁷ (Moorcroft et al., 2006). The progress made in the last decade in paleobotanical methods and results and in genetics represents a very important step forward in understanding the different strategies that forest species have adopted as fast-dispersal responses to past climate changes. The following theories contribute to understanding how tree species may be able to migrate long distances in short periods of time:

□ **The “superspecies” theory**

Studies from north-western America suggest that rapid colonization can occur when a colonizer tree temporarily escapes from host-specific pathogens, behaving like a “superspecies” that experiences a period of transient competitive advantage over the resident species. This is how researchers explain the rapid expansion of beech 3,000-2,500 years BP in north-western America following the mid-to-late Holocene hemlock decline (competitor species and resident in the area due to an earlier Holocene expansion) linked to an outbreak of forest pathogens (several authors in Moorcroft et al., 2006).

An important difference between post-glacial tree species dispersal and future climate change dispersal needs in the highly heterogeneous and species/habitat rich Mediterranean landscapes is that native tree species will not find empty areas to be colonized and the conditions for them to become “superspecies” may not exist. Changes in species interactions and succession mechanisms will work in parallel with pathogen population dynamics, with the latter being difficult to predict.

A very different situation will be that of alien tree species, which may easily become “superspecies”, as has already happened with a number of exotic

7 The rule would be that the dispersal of colonizing species in a landscape where a competitor species is present should be markedly slower.

species in all Mediterranean bio-geographic regions (e.g. *Pinus pinaster*, a native species from the western Mediterranean basin, has become a very invasive alien species in the Cape ecoregion in South Africa) due to multiple causes which are difficult to understand, including the absence of host-specific pathogens. Whether or not climate change will help activate an invasive character of exotic species present in the region, which until now have not behaved as invasive, is a critical conservation issue and a key open question for researchers.

□ **The “abrupt changes” theory**

In certain cases, paleobotanical data from the region show an opposite case to the previous theory: the expansion of certain species in southern Europe has been delayed in comparison with the earlier expansion of other ecologically-compatible species. This has often been explained by factors like distance from refugia and speed of seed dispersal; these explanations were not consistent with the migration behaviour of the same species in northern Europe. Finer analyses of past climate changes have finally indicated that competitive disadvantage prevented the expansion of certain species until large-scale disturbance events associated with both climate change and human impact may have favoured their rapid expansion and species range shifts. This is the case of the delayed expansion of hazelnut (*Corylus avellana*) during the Holocene in the southern Alps (in comparison with the expansion of similar thermophilous tree species two millennia earlier), which took place by 11,000-10,500 BP: changes in climate seasonality with higher summer temperatures and a more pronounced seasonal drought associated with intense human-caused forest fire activity favoured very rapid hazelnut dispersal in open vegetation (Finsinger et al., 2006). This theory has been used by different authors (e.g. Carrion, 2003; Tinner et al., 2000 and 2005) to explain why in very short periods of time sharp vegetation changes occurred during past climate changes, with the rapid expansion of xeric tree species and significant reductions or extinctions of more temperate species (Figure 2).

According to paleobotanical data, large territories in the Mediterranean region are nowadays occupied by more xeric vegetation types than those which were present before the occurrence of a succession of pre-historic human disturbance booms which caused rapid alteration of the landscapes. This is especially relevant when considering the ongoing climate change trend, for two opposite reasons:

- On the one hand, the occurrence in last decade of more frequent and intense large-scale disturbances (e.g. uncontrolled forest fires) may cause sharp changes towards more xeric vegetation types with unpredictable ecological and socio-economic consequences.

- On the other hand, under sustainable land management conditions, the more xeric character of current vegetation may help it withstand a broader range of changes in climate.

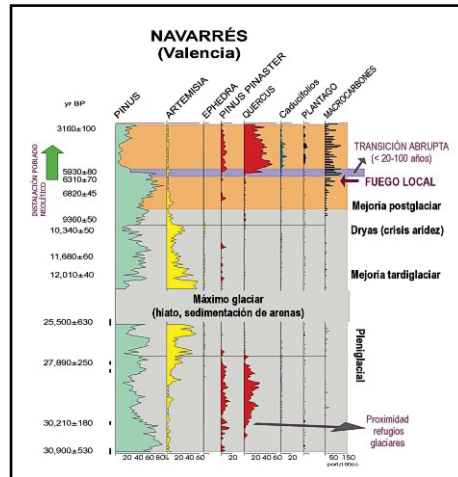


Figure 2: Pollen diagram showing fire disturbance as a driver of sharp vegetation change ~ 6,000 BP (Carrion, 2003).

□ The “rare long-distance dispersal” theory

Paleoenvironmental records provide evidence of long-distance dispersal events of tree species in response to climatic warming at the end of the last glaciation. Authors explain that in parallel with the normal dispersion rates of tree species, rare long-distance dispersal events sporadically occur (e.g. long-distance anemochoric dispersal of seeds due to exceptional storms, hurricanes, etc; zoochoric dispersal of seeds due to exceptional long-distance mammal and/or bird species movements), leading to the establishment of small, remote populations, followed by a quiescent phase of little discernible range change, and an active phase of explosive expansion (Overpeck et al., 2003).

Researchers should monitor existing rare long-distance dispersal events to gain a better and more global understanding of Mediterranean tree species dispersal mechanisms. Moreover, managers could mimic this type of complementary dispersal system, by establishing small species populations and monitoring them in key intermediate areas connecting remote populations.

The poor understanding of future climate change effects at regional/landscape scales, and the complexity of cause-effect mechanisms and interactions between changes in climate and vegetation responses make future predictions very uncertain. For a number of authors, the forecasted global warming may trigger rapid collapses, expansions, and invasions of tree species (Tinner & Lotter, 2001). They believe that species migration may not be fast enough to cover dispersal requirements under the predicted rate of climate change, in spite of the paleobotanical indications of rapid migration speed (>100 m/yr) for several tree genera. On the other hand, a number of authors highlight the fact that future climate change projections on species range shifts and/or extinction result from over-simplified species-based models and, therefore, they should be interpreted with care. A very detailed assessment of the weaknesses and challenges of mathematical models in predicting future impacts of climate change on ecosystems has been undertaken by Midgley et al. (2007). Uncertain climate projections at regional/landscape scales, and the failure to incorporate critical issues (e.g. landscape heterogeneity, species-human interactions, species-climate relationships, inter-specific competition, and the dynamic aspects of migration) in the projection models, are likely to generate significant mistakes and the overestimation of species migration needs within forest landscapes and between regions.

Species *In Situ* Adaptation to Past Climate Changes

Analyses of past climate changes also provide valuable information about the ability demonstrated by certain species to persist *in situ* under adverse and unpredictable conditions. This seems to be the case of plant species adapted to extreme environments, such as the Mediterranean climate. Studies from the Mediterranean region show that current tree flora is made up of very resilient old taxa that have already experienced many abrupt and intense climate changes in the past (Petit et al, 2005), being able to maintain quite stable populations through periods where climate conditions have changed. Moreover, temperate tree and shrub species with southern range margins in the Mediterranean basin have the bulk of their genetic diversity in their so-called “rear-edge” Mediterranean populations, although these represent a small fraction of their distribution range. Therefore, under a climate change scenario, the great stability and genetic diversity of the numerous “rear-edge” tree relic populations scattered along the Mediterranean mountains and heterogeneous landscapes are extremely important for in-situ conservation strategies. These should not be undervalued in favour of strategies focusing on the predicted dynamic “leading-edge” population shifts to the north and higher altitudes (translocation of species populations). Another work on migration and adaptive response to Pleistocene-Holocene changes in woody plants from the Great Basin (Nowak et al., 1994), demonstrates the existence of species that possess high levels of genetic variation that allow their in-situ persistence during periods of climate change

through local selection of pre-adapted genotypes (“orthoselective” species). Although the adaptive plasticity of species is a complex and species-specific issue, it is clear that this species persistence factor deserves more attention in the context of management and conservation adaptation strategies, as *in-situ* adaptive responses to global warming appear to be significant in some species.

□ Species responses to atmospheric CO₂ changes in the past

Past climate change analyses also provide very valuable data regarding the effects of changes in atmospheric CO₂ concentration on vegetation. Analyses from the Mediterranean region provide evidence of tree species adaptation to paleoclimatic CO₂ changes, mainly consisting of a reduction of the stomatal index (proportion of leaf stomata cells compared with epidermal cells) and an increase of the stomata pore size, in line with the increase in atmospheric CO₂ (Garcia-Amorena, 2007). This may represent an adaptive trail for Mediterranean forests, reducing tree transpiration (fewer stomata per leaf surface) while maintaining photosynthetic activity (large pore size) and productivity. Nevertheless, this is still a very debatable feature, especially when considering that stomatal changes stop after a certain increase in atmospheric CO₂ (Garcia-Amorena, 2007).

□ Concluding remarks useful for forest conservation and management adaptation

The management implications arising from the contrasting theories regarding the requirements and mechanisms for species to respond to fast long-distance migration, and *in-situ* preservation opportunities in refugial areas in the heterogeneous Mediterranean landscapes, may be quite different. They range from the possible need to translocate species with poor dispersal abilities, to the need to identify, restore and carefully manage isolated populations existing outside a species’ core range (Pearson et al., 2005) and highly heterogeneous landscape units with greater opportunities for *in-situ* reorganization of large species ensembles.

In spite of the much faster climate changes predicted for the near future, the strategies and responses of the different forest species during past climate changes (during which episodic short periods of abrupt climate changes and large scale disturbances also occurred) enhance our understanding of Mediterranean forest vegetation dynamics and suggest more robust (less uncertainties and risks) adaptation strategies in the face of future climate conditions.

4 | Current and Forecasted Climate Change Impacts in Mediterranean Forests

Climate change compounded by maladaptive processes and land uses (e.g. unsustainable rapid land-use changes, rural abandonment and overexploitation of land resources) are likely to increase the frequency and intensity of pathogen outbreaks, uncontrolled fires and other large-scale disturbances. All this may contribute to:

- Diminishing forested areas within the Mediterranean basin, which will be replaced by fire-prone shrub communities.
- Increasing landscape fragmentation, which will consequently hinder migration/dispersal opportunities for a number of species at risk of extinction.
- Decreasing annual tree growth increments and the subsequent income from forests.

Ecological Changes

Ecological changes in species distribution ranges, phenology and species interactions are occurring in all marine, freshwater and terrestrial groups. These changes are heavily biased in the directions predicted from global warming and have been linked to local or regional climate change (Parmesan, 2006).

For certain species and regions in Europe, the loss of climatically suitable areas predicted under future climate change scenarios is likely to lead to habitat and ecosystem loss (Saxon et al., 2005), and the extinction of flora and fauna species (Bakkenes et al., 2002; Thomas et al., 2004; Thuiller et al., 2005)⁸. The risk of biodiversity loss may be increased if the future remaining areas of suitable climates for a number of species are very far from their current distribution areas, posing an additional problem to less mobile species (Ohlemüller et al, 2006). As previously mentioned, care should be taken when interpreting these predictions, given the uncertainties of the over-simplified species-based models on which

8 References from Ohlemüller et al., 2006.

such predictions are based, and the high heterogeneity of the Mediterranean landscapes where tree species may find suitable climatic conditions within short distances.

□ Shifts in species ranges and ecosystem boundaries

Shifts in plant species and biome distribution in response to warming have been described in past climate changes. Observations of range shifts in parallel with the ongoing climate change are particularly rich in northern Europe, where observational records for many birds, butterflies and plants date back to the mid-1700s (Parmesan, 2006). Evidence of the influence of climate change on species ranges and ecosystem boundaries has also been observed in Mediterranean vegetation, although reported evidence is still scarce:

- The altitudinal life-zone belts seem to have shifted upwards somehow, and drier, warmer conditions now characterise areas that used to be marked by a colder, more humid climate:
 - a) The northward and upward spread of Saharan species such as *Fredolia aretioides* and *Zilla macroptera* in the low-mountain areas of the High Atlas and eastern Middle Atlas (Medail & Quezel, 2003).
 - b) The shifting of Aleppo pine trees 200 m upslope in the mountains of southern France (e.g. the Sainte-Baume massif) occupying the lower altitudinal range of the Scotch pine forests. In this ecotonal zone, Scotch pine now has a lower growth rate and suffered a dieback process during the 2003 extreme drought period (Vennetier et al., 2005).
 - c) Since 1945, progressive replacement of cold-temperate ecosystems by Mediterranean ecosystems in the Montseny mountains (Catalonia, NE Spain) has been reported. Beech (*Fagus sylvatica*) forest has shifted upwards by ca. 70 m at the highest altitudes (1600–1700m). Both beech forests and heather heathlands (*Calluna vulgaris*) are being replaced by holm oak (*Quercus ilex*) forest at medium altitudes (800–1400m). Forest replacement occurs through the progressive isolation and degradation of beech stands (i.e. beech trees are 30% more defoliated and beech recruitment is 41% lower) surrounded by expanding holm oak stands, where tree recruitment is three times higher than in beech stands. The progressively warmer conditions, combined with changes in land use (mainly the cessation of traditional land management) are the apparent causes, providing a paradigmatic example of global change affecting distributions of plant species and biomes (Peñuelas & Boada, 2003).

- d) The tree line and the level at which Alpine plants are found in Europe are moving towards higher altitudes (Walther et al., 2002)⁹. Nevertheless, at least in the case of trees, upward shifts should be carefully analysed, as they may be related to recent land use changes, with the abandonment of high mountain pastures and their recolonization by forest vegetation, restoring what used to be the natural tree line before human intervention (up to 300m higher than the current tree line level).
- e) The geographic ranges of many species have shifted polewards and uphill in elevation as a result of climate warming, leading to increases in species richness at high latitudes and elevations. However, few studies have addressed community-level responses to climate change across the entire elevational gradients of mountain ranges, or at warm lower latitudes where ecological diversity is expected to decline. Uphill shifts in butterfly species richness and composition in the Sierra de Guadarrama (central Spain) were observed between 1967–1973 and 2004–2005. Butterfly communities with comparable species compositions shifted uphill by 293m (\pm SE 26), consistent with an upward shift of approximately 225m in mean annual isotherms. Changes in species richness and composition primarily reflect the loss from lower elevations of species whose regional distributions are restricted to the mountains. A net decline in species richness has occurred in approximately 90% of the region, with increasing community domination by widespread species. The results suggest that climate warming, combined with habitat loss and other drivers of biological change, could lead to significant losses in ecological diversity in mountains and other regions where species encounter their lower latitudinal-range margins (Wilson et al., 2007).

There are a number of issues which should be considered in order to understand the effects of species shifting and conservation responses:

- Species ranges often expand as a result of an upward shift in altitude or latitude of the upper edge of their distribution range (while the lower edge usually remains the same). This is an important fact which requires carefully monitoring as it may represent a positive effect of climate change or just a lag in a species' response when withdrawing from its lower distribution range.
- The use of tree lines as indicators of climate change must be approached with care: although tree lines are considered to be thermally controlled, historical (e.g. the conversion of high mountain forests into pastures) and biotic factors

9 Reference included in the bibliography of H. Reid, 2006.

(e.g. an increase in herbivore activity due to the elimination of most natural predators) can confound our interpretations of climate change effects on the upslope spreading of trees, apparently strengthening or minimising the expected impacts of climate change (Cairns & Moen, 2004).

- Current species distribution ranges may be significantly different from the potential species' climate envelope. This may imply that a number of species may have larger margins for *in-situ* adaptation to climate change before reaching the migration threshold.

□ Species migration

Migration capability is dependent on each species' seed production and dispersal strategies. Nevertheless, predicting the distance that seeds can travel is not so easy, as it depends on a great variety of processes (Higgings et al., 2003).

Incomplete knowledge of the potential migration rate of species limits our current capacity to predict the impacts of global climate change on the future geographic distribution of species, their range sizes and even potential vulnerability to extinction (Midgley et al., 2007). Plant species migration represents a major uncertainty in the prediction of vegetation response to climate change, due to a number of reasons (Midgley et al., 2007):

- Species' current geographic ranges may be controlled by factors other than climate, such as disturbance regimes, human disturbances and/or strong inter-species interactions.
- The dynamics of changes in forest tree species ranges can hardly be predicted due to lags in adult mortality and the self-regulatory mechanisms of forest populations (i.e. micro-climate conditions inside mature forest stands), creating resistance to range contractions.
- The dual face of human influences which may, on the one hand, introduce barriers and filters to dispersal preventing or retarding migration rates, and on the other hand, accelerate spread rates through artificial species introductions.

□ Changes in Phenology

Changes in phenology may have serious consequences for forest species, especially when the appearance of pollinators does not correspond to the blooming season. Some effects that have already been observed are:

- Spring has come forward two weeks in Spain and has 23 more hot days than 30 years ago, (e.g. almond used to blossom in late February/March but now does so as early as late January).

- Changes in rainfall and water availability constitute an important factor, leading to significant phenological changes in Mediterranean shrub species (e.g. *Erica multiflora* and *Globularia alypum* in Catalonia) with subsequent changes in the structure, composition and functioning of their communities (Peñuelas et al., 2003).
- Phenological changes related to warming climate conditions may reduce the competitive ability of mountain conifer species (e.g. the different Mediterranean subspecies of *Pinus nigra*), which are well adapted to extreme weather conditions (e.g. late frosts and low winter temperatures), favouring broadleaf species (e.g. deciduous oak species), which may extend their growth period which was previously limited to the water-scarce summer months due to spring and autumn frosts).

□ Extinction rates

Climate change will not only shift mountain vegetation belts upwards, but will also affect competition between species due to the migratory ability and speed of individual species. Plant species may not be able to migrate fast enough, and their migration possibilities may be limited by factors such as soil type, water availability and human-induced barriers to migration (Beniston, 2003). Moreover, the reduction in available space for species in upper mountain areas and the lack of certain habitat requirements may also reduce the migration opportunities for many species. This may be the case for the numerous endemic Mediterranean plant species with narrow distributional ranges, which constitute the prevalent regional endemic group and represent the cornerstone of Mediterranean biodiversity, especially in mountains and on islands (Thompson, 2005).

The overall picture of several global change scenarios (Thuiller et al., 2004) is that severe extinction of high mountain plant species/communities and significant biological diversity loss is possible in the Mediterranean mountains, due to migration problems and inter-species competition. Thuiller et al. (2004) predict severe extinction of numerous mountain regions in Europe, including important Mediterranean areas (the central Pyrenees, the Sistema Central, Sistema Ibérico, Montes de Toledo and eastern Betic Mountains in Spain; the French Cevennes, Corsica and Maritime Alps; the northern and central Apennines, northern Sardinia and the Sicilian Etna/Nebrodi mountains in Italy; the Dinaric Arc in the Balkans; the Pindos range in Greece). This will affect numerous endemic species of each of the main Mediterranean mountain chains. Ohlemüller et al. (2006) predict that mountainous areas in the Mediterranean part of Europe are most prone to biodiversity loss, making special reference to the endemic flora and fauna of the central and northern Iberian mountain ranges which, it is predicted, will have no climatically analogous areas in Europe in the future. Thuiller et al. (2004) predict less species loss in the southernmost Mediterranean areas of Europe, which are

characterised by the presence of species that are well adapted to heat and drought, which apparently will allow them to withstand future conditions. Similar conclusions are given by Ohlemüller et al. (2006) for south and south-eastern Europe, which are likely to experience analogous climate conditions to the present day.

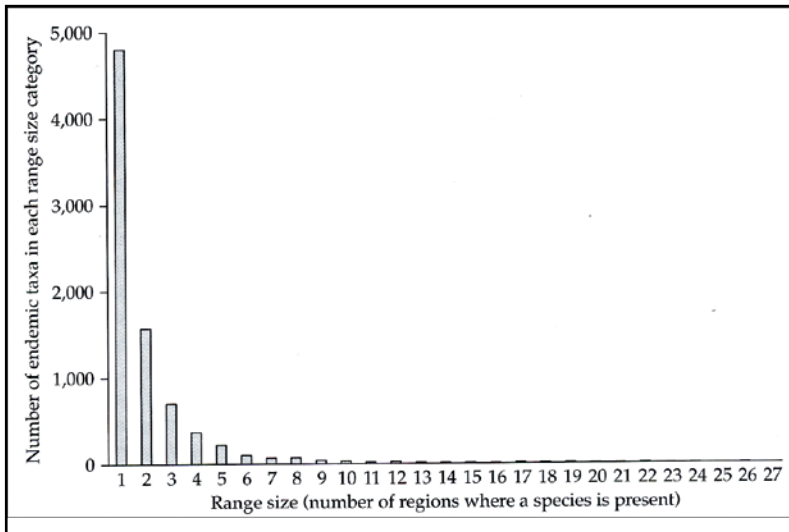


Figure 3. Prevalence of narrow endemic plant species in the Mediterranean region (source: Thompson, 2005)

More work is needed to determine under which conditions most tree extinctions took place in the past (Petit et al., 2005). Results from different analyses are somewhat equivocal with respect to the reactions of tree taxa to climate, especially as far as precipitation is concerned. A number of paleobotanical studies associate changes in atmospheric circulation and precipitation regime with the local disappearance or sharp reduction of tree species populations (e.g. in the past, the presence and disappearance of *Pinus pinaster* along the Portuguese coast (Garcia-Amorena et al, 2007), or *Abies alba* in the southern Alps (Tinner et al, 2005)). Unfortunately, precipitation is poorly understood in climate change scenarios. A related question is how much inertia to global change exists in Mediterranean ecosystems (Petit et al., 2005): conflicting results are reported from different analyses.

□ Metabolic and physiological changes

Physiological changes resulting from a changing climate are related to cellular processes that control the use and exchange of matter and energy. According to laboratory studies, changes in rainfall regime, temperature and carbon dioxide

concentration in the atmosphere can significantly affect these processes. Although responses depend on the species under study, in general, all plant species will experience metabolic and physiological changes as a consequence of climate change. These changes will occur in both the short (changes in productivity and evapotranspiration) and long terms (modifications of nutrient reservoirs and new plant communities adapted to the new conditions) (Robledo & Forner, 2005).

□ Carbon dynamics

Photosynthesis and respiration constitute the largest fluxes into and out of the biosphere (Molles, 1999). Terrestrial carbon fluxes account for more than half of the carbon transferred between the atmosphere and the Earth's surface (about 120 Gigatonnes/Year) (Breshears, et al, 2001).

Soil carbon pools play a significant role in sequestering atmospheric carbon, while at the same time improving site productivity (e.g. water retention and soil productivity). Although soil carbon pools have been greatly depleted due to the last century of land over-use and degradation, adaptive land management practices together with climate change have the potential to increase the carbon pool in soil, while mitigating the risk of soil carbon loss induced by climate change-related extreme events (e.g. soil erosion due to torrential rainfall, forest fires, and drought-induced vegetation cover loss).

Large-Scale Forest Fires

Forest fires are part of the natural disturbance of the dynamics of Mediterranean vegetation. However, millennia of human transformation of Mediterranean vegetation have modified natural forest fire dynamics, making it rather difficult to understand and/or characterise natural forest fire regimes nowadays. In addition, for many Mediterranean species it is difficult to determine whether fire or any other natural or anthropogenic disturbance acted as the major selective force for their environmental adaptation:

- In the case of xerophyte conifer species, like the Aleppo pine (*Pinus halepensis*), a “dual life strategy” has been described¹⁰, mainly responding to fire and periods of intense drought (Goubitz et al., 2004):

10 A number of reproductive features are described as adaptation to fire and drought, from which serotiny must be highlighted. Serotiny is described as the retention of mature seeds in a canopy-stored seed bank with synchronized delayed dispersal - cone opening and seed release - at times of optimal conditions: fire and extreme dry weather (Enright et al., 1998). Serotiny is common among pine species and some angiosperms from the southern hemisphere (i.e. Australia and South Africa) growing in fire-prone ecosystems.

- a) A very successful early colonizer after wild and human-induced fire events;
- b) A pioneer and invasive species with high regeneration in unburned areas where intense drought periods and low fertility soils represent an important limitation to tree growth.

Although conifer species tend to respond more effectively to heat drought and cold drought (frost), they deplete ground water more rapidly than broadleaf species.

- In the case of evergreen broadleaf species, like the strawberry tree (*Arbutus unedo*), a “dual life strategy” can also be described, mainly responding to fire and intense grazing - A very successful species that resprouts after wild and human-induced fire events, and after intensive game and domestic animal grazing.

Although evergreen broadleaf species tend to respond less effectively than conifers to heat drought and “cold” drought (i.e. conduction system problems, cell death and leaf drop), they help preserve soil water better.

Fire-adapted ecosystems have developed adaptation mechanisms to withstand this disturbance or the new environmental conditions that happen during and after a fire (Valdecantos, 2008). Nevertheless, when the period between two consecutive fire events is too short to allow the production of fertile seeds or to recover the soil seed bank of obligate seeder species (i.e. *Pinus spp.*, *Ulex parviflorus*, *Cistus spp.*, *Rosmarinus officinalis*) the recovery of the ecosystem to its pre-disturbance state is unlikely to occur, and the autosuccessional processes are altered (Valdecantos, 2008).

Global warming-related changes in forest fire regimes (large-scale fires; higher periodicity with the repetition of fire events in the same area in consecutive years or after few years; and changes in the seasonality of forest fires, with the probability of fire events occurring out of the summer period) not only cause dramatic environmental (e.g. forest and species loss, soil erosion, floods) and socio-economic problems, but also result in ecosystem changes (e.g. fire-prone species like the Aleppo pine may be negatively affected by fires occurring during the cone maturation season and by a higher frequency of fires, resulting in a high probability of species disappearance within a territory).

Giannakopoulos et al (2005) projected the following changes in Mediterranean fire risk based on the Canadian Fire Weather Index (FWI):

- 2 to 6 additional weeks of fire risk are expected everywhere except for Provence, southern Italy/Sardinia, northern Tunisia and Libya where one week more is foreseen, and Egypt and the Middle East coast where no increase is foreseen. A greater increase of up to 6-7 weeks is expected inland (central-western Iberian Peninsula, the Atlas mountains and plateaus in North Africa, large parts of Serbia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro in the Balkans, and north-eastern Italy), where a significant proportion of this increase will actually be related to extreme fire risk. A smaller increase is expected in the coastal areas with almost no change in extreme fire risk, except for the Iberian Peninsula, Morocco, northern Italy and the eastern Adriatic coast.

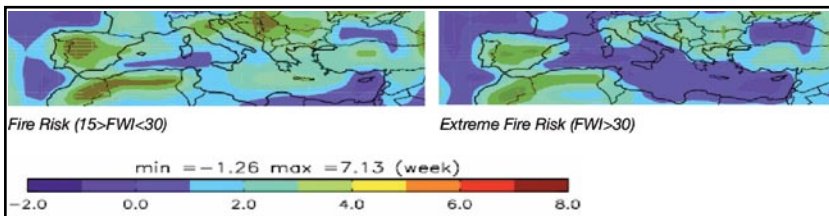


Figure 4. (Giannakopoulos et al., 2005): Increase in No. days (in weeks) with Fire Risk

- The maximum increase in fire risk will occur in July and August, especially in the central part of the Iberian Peninsula, northern Italy, the Balkans and central Anatolia. Outside the summer months, fire risk increase is expected in May and October in the Iberian Peninsula, Morocco and Algeria, and only in May in south-eastern Turkey and Syria.
- Portugal: Forest fires associated with the 2003 heat wave resulted in an extremely large area of burned land (about 450,000 ha), corresponding to approximately 13% of the total forest cover in the country

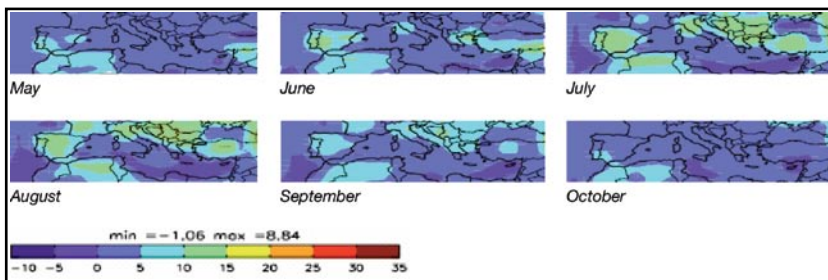


Figure 5. (Giannakopoulos et al., 2005): Monthly changes of average FWI from May till October between the control (1961-90) and future (2030-60) periods.

- Israel (Pe'er G. & U.N. Safriel. 2000): Delayed winter rains will increase the risk of woodland fires, as most fires occur in autumn during dry vegetative matter peaks. The frequency, intensity and extent of fires will increase due to lower soil moisture, increased evaporation and increased frequency and intensity of heat waves. The increased frequency of fires may offset the high potential of many of Israel's woodland species for fire resistance and regeneration, and hence woodland ecosystems may be critically damaged.

Forest Dieback

The rise in temperature as a consequence of climate change is increasing the respiratory cost of living tissues. In addition, the reduction in precipitation can severely limit the gross primary production of forests and, as a consequence, the carbon balances of some Mediterranean forests. During dry periods, with extremely low annual rainfall, the respiratory cost is compensated by using the mobile carbohydrates stored in the plants. Once this pool has been used up, the visible symptoms of dieback become evident, so monitoring the amounts of starch in plants can be used as an efficient indicator to prevent dieback. Reducing the respiratory costs of forests is crucial to survive adverse periods. The reduction of resprout density has been experimentally proved to be a useful management technique to overcome some adverse effects of climate change (Gracia, 2006).

Forest Pests

Increased levels of CO₂ in the atmosphere prompt an increase of the C/N balance of plant tissues, which in turn results in a lower food quality for many defoliating insects. Some insects respond by increasing the level of leaf consumption and consequently the damage to the tree, whereas others show higher mortality and lower performance. The level of plant chemical defences may also be affected by a change in CO₂. The temperature affects either the survival of insects which are active during the cold period, such as the pine processionary moth, or the synchronization mechanism between the host and the herbivores, as in the case of the larch bud moth. An increase in temperature may alter the mechanism by which the insects adjust their cycles to the local climate (diapause), resulting in faster development and a higher feeding rate – a technique to overcome some adverse effects of climate change (Battisti, 2004).

Invasive Species

Climate change will certainly increase the invasiveness of alien species. Experimental results show that high-CO₂-level alien species make more efficient use of the available water resources, becoming more productive than native species. The increase in N fertilization also favours alien species over native species (Lloret et al, 2004).

The number of alien species in the Mediterranean region has grown considerably during the last decades. Although alien species still have a moderate presence in the Mediterranean forest environment (with the exception of riparian forest ecosystems) a number of exotic trees (e.g. *Ailanthus altissima*, *Acacia* spp., *Robinia pseudoacacia*) have already become aggressive in certain regions, colonizing the forest edge and open woodlands. Mediterranean riparian forests are a very sensitive environment vis-à-vis alien species, which often colonize large areas with strong growth potential and dynamism (Lloret et al, 2004).

5 | Adaptation to Climate Change

Since the early 1990s the assessment of climate change impacts and their consequences for nature resource management has been the focus of numerous research efforts worldwide. Despite this intense scientific effort, little has been done so far to plan and implement adaptation measures for forest management and conservation, largely due to:

- the numerous uncertainties that still exist about projections of future climate variability and response simulations.
- The lack of proactive interaction and linkage between forest managers on the ground & scientific research and results
- The “yet non-favourable” conditions (in terms of awareness, capacity, policy, incentives, approaches including scales of planning and intervention, etc) at national and regional level to do so.

What is Adaptation?

According to Spittlehouse & Stewart (2003), adaptation to climate change refers to adjustments in ecological, social, and economic systems in response to the effects of changes in climate. As far as vulnerable ecosystems are concerned, adaptation requires flexible management practices to enhance the inherent adaptability of species and habitats and reduce trends in human-induced pressures that increase vulnerability to climate variability and change (Hulme, 2005). This often implies undertaking ecological restoration efforts to restore resilient environmental conditions to forest species populations, stands and landscapes that have changed greatly in the past due to human land use.

Nature in general, and forest ecosystems in particular, will adapt autonomously to climate change, as they have been doing for millennia. Nevertheless, we may wish to influence the barriers, direction and timing of this adaptation in order to mitigate the socio-economic and environmental costs of disturbance processes exacerbated by climate change, and maintain the societal values of the current ecological and economic systems (i.e. *in-situ* conservation of the priority species and habitats listed in the annexes of the Habitat Directive; conservation and sustainable management of cork oak forests in the western Mediterranean for maintaining the cork related economies and livelihoods that depend on them).

Considering that evidence of climate change has already been observed in recent decades, adaptation actions are not only something to be applied in the future, but are urgently needed now.

Forests and Climate Change Adaptation

Forests are very dynamic ecosystems, which are in a constant process of change and restructuring in space and in time, and at different scales. This is known as ecological succession, a process which involves:

- Internal species dynamics: different types of species interactions and abilities to facilitate, inhibit or tolerate the presence of other species, when competing for limited resources (i.e. nutrients, water and space);
- Modification of the environment: soil formation, microclimatic conditions, etc;
- The occurrence of external forces or disturbances, including climate changes, which make resources available again, change species pools over time, and continually reshape forest communities.

Therefore, forests are influenced by climatic conditions and unpredictable changes in climate, and forests influence climate in turn:

- Stochastic disturbances, often driven by extreme climate events, activate adaptive responses of forest species, which are permanently adapting to a changing environment, lagging behind trends in environmental change.
- The evolution over time of forest communities helps create microclimate conditions in the forest understorey, which allow the existence of species which may not withstand the external climatic conditions. Thanks to this feature, the maintenance and restoration of mature old-growth forest stands is extremely valuable for building resilience against future climate change.

Under such a dynamic approach, forest resilience refers to the conditions that allow a forest ecosystem to absorb changes in the environment and still persist (Holling, 1973). The adaptation of forest ecosystems to climate change will imply understanding and influencing these conditions to help increase forest resilience.

Forest adaptation options to climate change will depend on the principal purpose(s) established in forest policies (e.g. timber and/ or non timber forest products; retention of high forest for leisure and amenity use; maintenance of the genetic resources and biodiversity of native forests) when assessing vulnerability to climate change. Nevertheless, society today demands multifunctional forest

systems, not only for the provision of a sufficient amount and quality of timber, but also a wide range of goods and services, from carbon sequestration, biodiversity conservation, a sufficient supply and quality of water, to aesthetic and emotional values. Adaptation options will require trade-offs to balance all demands.

Changes in climate occur simultaneously with land use changes, nitrogen deposition and air pollution, resulting in a situation where adaptation options will require adjustments to increase forest resilience against a more complex combination of changes.

The life cycles of forests range from decades (i.e. fast-growing tree plantations) to centuries (natural forest systems), and therefore management plans should consider the climate change predictions of biological changes over the next century (Spittlehouse & Stewart, 2003). In general terms, biological changes will consist of:

- Tolerance to environmental change and in-situ persistence (because of phenotypic plasticity, survival, growth and reproduction are still possible locally even though the environment is changing);

And/or, in parallel:

- *In-situ* adaptation of species with high phenotypic plasticity¹¹ (due to underlying heritable genetic variation/diversity), which can evolve and genetically adapt to new conditions.

And/or, in parallel:

- More or less large-scale biome shifts, with the movement of species ranges northwards and upwards in elevation, following changes in the abiotic environment suitable for them, and maintaining their “climatic envelope”.

And/or (e.g. in the event of the existence of barriers), in parallel:

- Reduced growth rate and regeneration success, which finally can lead to extinction due to lack of ability to cope with the abiotic changes.

11 Phenotypic plasticity refers to the ability of a genotype to exhibit alternative morphological, behavioural and physiological characteristics (a range of phenotypes) in response to variation in environmental conditions.

All these changes will most probably:

- Lead to the occurrence of new assemblages of species in space and time, which may also be influenced by changes in the competitiveness of different species.
- Increased competition from invasive species.

Responses are not all mutually exclusive but may occur concurrently, and will be mediated by geographical factors (e.g. the existence of natural barriers or migration pathways), physical factors (e.g. the availability or lack of nutrients, soil depth, lithology), anthropogenic factors (e.g. the existence of barriers resulting from landscape modification, the introduction or not of invasive species), and ecological factors (e.g. changes in the competitiveness of different species). The major limiting factor in the Mediterranean context is water.

Given the magnitude and rate of predicted climate change, trees and woodlands will be significantly affected. Adaptation is therefore an important issue and should be addressed at the earliest opportunity. This is particularly the case because of the long timeframe associated with any management decisions made in forestry. In contrast with other sectors, five, twenty and even 50 years are short-term planning horizons for some elements of woodland management. By the 2080s, an oak tree planted now will only be half-way through a commercial rotation, while as a component of semi-natural woodland, it would still be at a juvenile stage. The difficulty is ensuring that decisions made now, particularly over planting material, are appropriate to both the current and future climate. Decisions should also not be restricted to the choice of planting material - landscape-level planning is equally relevant, with larger and less fragmented areas of woodland likely to be more robust in the face of any environmental perturbation. Woodland networks will also provide the opportunity for both native fauna and flora to migrate as climate change progresses¹².

Adaptation options for Mediterranean forests

□ The Mediterranean forests

will autonomously adapt to climate change without the need for human intervention. Nevertheless:

- Society is currently highly dependent on goods and services offered by forest ecosystems as they are now.

12 <http://www.forestresearch.gov.uk/website/forestresearch.nsf/ByUnique/INFD-5ZYFEX>

- Climate change effects on Mediterranean forests will be exacerbated by unsustainable land use changes.

This implies the need to plan adaptation strategies and options in advance to prevent major changes (e.g. extinction processes, the consequences of extreme events) and facilitate *in-situ* forest adaptation and species migration to meet the desired future environmental, social and economic conditions

Adaptation interventions are required before irreversible losses occur, or before the complete certainty about climate change induced harms in forest ecosystems can be achieved. Nevertheless, a precautionary approach is also required to avoid undesirable consequences of planned adaptation options with high uncertainties and weak scientific basis. We should consider that:

- In a changing climate one must expect the unexpected (and unpredictable) and keep open as many response options as possible (Walker & Steffen, 1997).
- Model-based uncertainties and limitations in species range prediction, in-situ conservation and migration opportunities, and extinction rates (Pearson et al, 2006).
- A key adaptation strategy in the face of uncertainty is to maintain ecological structure and processes at all levels and reduce existing pressures on natural ecosystems (Markham & Malcolm, 1996), incorporating biodiversity conservation in other land use sectors, so that societal responses to climate change do not jeopardise biodiversity.

Mediterranean forests are characterized by high biological diversity. Mediterranean populations of tree species having a broader European expansion are genetically more diverse than populations located at northern latitudes. Populations and species often have a patchy distribution and are highly differentiated. At the same time, several species have a large and extensive distribution over different environments, and Mediterranean forest landscapes are very heterogeneous ones hosting numerous habitat types and species. The best adaptation strategy should support the increase of diversity at all levels (genus, species, communities and landscape).

□ Adaptation Options for Gene Resources Conservation

Tree populations having initially high levels of genetic diversity may adapt under the new climatic conditions, although the severity of climate change will certainly reduce population's size and density, and consequently genetic diversity can be

reduced due to stochastic events, drift or inbreeding (Papageorgiou, 2008). At the same time, tree populations will need to specialize in the new conditions so much, that the overall genetic diversity and the adaptability to future changes may decline.

The central task of gene resource conservation is, beyond any economic thinking, the maintenance of the evolutionary-adaptive potential of species, communities and ecosystems. Strategies for adaptive conservation and management of Mediterranean forests can take place *in situ* or *ex situ*.

In situ strategies should help maintain and enhance the function of the genetic system that secures the transfer of genetic diversity from one generation to the other and allows evolution to take place (Papageorgiou, 2008).. Emphasis should be given to the following :

- The long-term potential for survival of genetic reserves' should be assessed. Marginal and disjunct populations within distribution areas may play an important role in this sense. Conservation measures for “genetic reserves” will require conservation measures for the habitats , and not just for the genotype or rare species (Fady, 2008).
- The maintenance of high genetic diversity will help ensure a higher forest adaptive capacity. Forest species and populations with higher phenotypic plasticity and genotypic diversity can better tolerate changes in the environment.
- The need to enhance gene flow for adaptation (hybridization) should be addressed (Fady, 2008).
- In order to secure pollen and seed movement, measures that disturb the genetic system of forest populations should be avoided (e.g., fragmentation of forests and low forest density) (Papageorgiou, 2008)
- Restoration activities should focus on the protection of natural regeneration and where planting occurs or is needed, the used material should derive from local seed (Papageorgiou, 2008).
- The translocation of genetic material to colder, wetter climates could be considered. Other more drought-tolerant provenances and genotypes may also be considered, although it is difficult to assess their responses to a changing climate. The new European legislation on Forest Reproductive Material (FRM directive 1999/105) presents the risk of increasing long

distance FRM movements across Europe based on short economic return and not ecological considerations, thus promoting the use of not adapted (and not local) material (Fady, 2008).

When species or populations are not able to adapt and in situ conservation efforts will not be able to prevent species loss, *ex situ* measures are needed for the maintenance of genetic diversity:

- Frequent and representative collections of seed for the main and most threatened forest tree species should be a priority. These can be maintained in gene banks, plantations and can contribute to the increase of the genetic base of natural populations through the creation of seed orchards that will provide variable seed for restoration activities (Papageorgiou, 2008).

□ Forest Management Adaptation Options

Several research studies¹³ have modelled climate change impacts on different forest ecosystems, making recommendations on possible adaptive management responses to mitigate the adverse impacts of global climate change, while at the same time enhancing carbon storage in forests.

A number of adaptive forest management strategies and interventions are proposed on the basis of modelled simulations, field observations and experts' opinions. We highlight the following:

Changes in tree species composition

- Accelerate migration by planting new tree species that are better adapted to the predicted climate conditions, although this option may have high risks due to climate change uncertainties.
- Increase mixed forest stands and tree diversity, especially in ecotonal zones, combining different life strategies (resprouting, fruit trees, etc.) and drought-tolerant species. Mixed forest stands are considered by experts as more "natural" and resilient to changing climate conditions or to likely consequences of climate change (e.g. pests).

Conservation/restoration of biotic dispersal vectors

These may have an important role in long-distance dispersal (e.g. bird populations, migratory species).

13 E.g. the EU-funded SilviStrat Project addressing forestry adaptation options in pilot areas in northern, central and southern Europe; the EUFORGEN study on Climate Change and Forest Genetic Diversity in Europe

Changes in silvicultural practices

- Changes in rotation intervals and harvesting periods: i.e. longer rotation periods may be expected to compensate for growth rate reduction due to water constraints and increase the amount of carbon sequestered in tree biomass, forest soil and vegetation as a whole.
- Thinning: In the context of impending climate change, the issue of stand density influence on soil water availability remains crucial and warrants thorough quantification. At this point in time, thinning remains the principal silvicultural means through which the forest manager can avoid the severe water stresses and slow growth rates that are sure to be experienced as a result of increased climatic variability. To a certain extent, we can also use thinning to push a stand to rotation age during a time of marked environmental change. Hence, more research needs to be done into this technique, in order to better adapt it to the variety of species, ages and densities, and use it more aggressively to increase the ecological stability of existing stands of various ages¹⁴.
- Prevent stagnation of coppice woodlands/shrublands and activate biomass production, with a view to:
 - a) Achieving more diverse and better structured mature forests, which are more resilient to climate change (microclimate conditions)
 - b) Obtaining a greater carbon sink value, storing higher quantities of carbon and mitigating the effects of climate change.

Changes in soil management practices

a very important factor is in the adaptation to more severe water stress caused by unbalanced precipitation and increased potential evapo-transpiration by increased temperatures. Therefore, techniques to promote increased efficiency in water storage in soils are a key factor for many of the policies that strive to adapt forests to climate change (Rego, 2008).

- Soil carbon not only contributes to the carbon sink, but also improves site productivity (water retention and nutrient availability).
- Effective land management practices help prevent large reductions in ground cover (e.g. sustainable grazing, low-disturbance timber harvesting) and reduce soil erosion rates.

14 <http://www.eco-web.com/editorial/05934-03.html>

- Effective fire management strategies (e.g. thinning and controlled burning) help prevent soil and vegetation carbon loss.

Changes in forestry guidelines: promote close-to-nature forestry

- Increased tree species richness and structural diversity leads to flexible forest stands that are more resilient to climate change. As multifunctional forest management is the central objective in most forest policies nowadays, and considering that timber production is often a marginal market product in Mediterranean forests, it will be much easier to adopt close-to-nature forestry guidelines in this region, which help maintain balanced production of a wide range of forest products, and secure the provision of important environmental services (i.e. carbon sequestration, biodiversity conservation, etc).

□ Landscape Adaptation Options

This is the key adaptation level for increasing resilience and reducing vulnerability against extreme weather events.

A number of priority actions and tips are considered:

- Assess the vulnerability and adaptation ability of priority forest landscapes (including its environmental, economic and social aspects)
- Plan for “fire-smart” landscapes: More efficient ways to deal with increasingly severe conditions of the more intense and frequent wild fires due to global change should be considered.
- Enhance the ability of species to track moving climate envelopes throughout landscapes
 - a) Secure suitable habitat in species’ final projected ranges,
 - b) Secure suitable habitat in all parts of their traditional ranges,
 - c) Emulate long-distance dispersal through restoration: establishing small populations of different tree species in strongly converted landscapes
- Diversify habitat types, forest types and land uses at the landscape level
- Increase genetic, species and landscape diversity, especially in ecotonal zones
- Maintain/restore connectivity in a varied, dynamic landscape

- Monitor to determine when and what changes are occurring
- Protect “refugial” areas in heterogeneous landscapes which acted as important areas for in situ conservation of relic species and habitats during past climate changes.
- Emulate long-distance dispersal events linked to explosive expansion phases¹⁵: undertake forest landscape restoration actions by establishing small populations of different tree species in landscape units strongly converted into extensive and homogeneous agricultural land and in landscape areas which may be part of migration routes.

Post-fire restoration strategies/interventions to increase forest resilience against large forest fires exacerbated by climate change: The case of Valencia (Spain)

Alejandro Valdecantos

Post-fire vegetation might be characterized by dense shrublands with large quantities of dry biomass, and a higher degree of landscape homogenization irrespective of the pre-fire vegetation. This fact generates a continuity of fuel that leads to higher fire hazard, and often causes the systems to enter into fire degradation loops. Therefore, post-fire restoration should reduce fire hazard and increase ecosystem and landscape resistance and resilience to forest fires.

Restoration actions need to break the degradation cycle and promote new, faster ways of reaching the target forest ecosystem. In the region of Valencia (Spain) we acted in a 24 years-old *Ulex parviflorus* scrubland through a combination of selective clearing of high-flammable obligate seeder species (leaving standing individuals of re-sprouting species, which usually regenerate faster than seeders and offer greater protection from soil erosion and degradation) and planting seedlings of re-sprouting species. Three years after the clearing, we observed a significant change in vegetation structure and fuel model. Selective clearing transformed a highly flammable,

15 Fast migration rates were observed in some cases in past climate change events, and are observed today in the case of exotic species invasions, which are often assisted by human activities. Like the spread of weeds, rare long-distance dispersal events leading to the establishment of small, remote populations, followed by a quiescent phase of little discernible range change and an active phase of explosive expansion were probably important components of Quaternary migrations (Pitelka and the Plant Migration Workshop Group 1997; Clark et al., 1998).

dense and continuous scrubland with a great amount of dead biomass, into grassland with sparse re-sprouting shrubs and a discontinuous fuel load. The proportion of re-sprouting species compared with seeders greatly increased three years after the clearing treatment. The mulching of the soil surface with brush-chipping greatly reduced the germination rates of obligate seeders. There were ten times the numbers of re-sprouters than seeders in the cleared plots compared to the control ones. This conferred a higher resistance and resilience capacity to the new ecosystem.

In order to promote the long-term survival of seedling, techniques devoted to break the waterless period and overcome water shortage are encouraged. Our experience at this point in the Valencia region includes the use of runoff and water collected from fog.

- Runoff produced upslope is an efficient ancient agriculture practice in the Mediterranean region, which may play an important role in the restoration of degraded areas. It consists of incorporating lateral channels (runoff collecting surface) towards the hole where the seedling is planted (*microcatchment*). The survival rate of *Quercus ilex* planted with this technique increased by 25% as compared with control holes. A positive relationship between the runoff collecting surface and soil moisture in the planting hole during the critical first year after planting was observed.
- Fog may represent an important source of water to ecosystems. When fog meets a natural or artificial obstacle water condensates at the obstacle's surface. It can later be stored for further use in restoration activities during water stress periods. In the region of Valencia, Estrela et al. (2004) observed that the amount of water collected from fog may be similar to normal precipitation depending on collectors' exposure and location. The application of 3-5 litres of water collected from fog to *Quercus ilex* seedlings once or twice during the first summer after planting raised survival rates to close to 100%.

Extracted from a case study of the IUCN-WWF workshop "Adaptation to Climate Change in Mediterranean Forests Conservation and Management" (Athens, 14-16 April 2008)

The Forest landscape restoration (FLR) approach and methodologies provide opportunities to bring people together to identify, negotiate and implement practices that restore an agreed optimal balance of the ecological, social and economic benefits of forest ecosystems and landscapes, within a broader pattern of land uses (Saint-Laurent, 2008). Post-fire restoration and reforestation, using the FLR approach to increase resistance and resilience in landscapes, help respond to adaptation needs by having at the same time a mitigation role, as they contribute to store carbon. A Global Partnership for Forest Landscape Restoration was launched in 2003, as a network of governments, organisations, communities and individuals who recognise the importance of forest landscape restoration and wish to be part of a coordinated global effort¹⁶.

A National Plan for the Protection of Forests against Wildfires was developed in Portugal in 2006, as a response to the catastrophic fires of 2003, 2004 and 2005. The plan, which is very consistent with the FLR principles, takes into account foreseeable climate changes and the multifunctional nature of natural forest systems (namely the cork oak, stone pine, holm oak, strawberry tree and carob stands), in order to promote a more efficient land use and, at the same time, a more resilient landscape (Rego, 2008). The following key actions are undertaken:

- Strategic application of fuel reduction and silviculture treatments, within the implementation of regional forest defence networks, which includes the creation of a basic fuel breaks network and other specific infrastructures, as well as managing the forest/agriculture and forest/urban areas interfaces.
- the creation of “zones of forest intervention” (ZIF), managed by local stakeholders (forest owner’s associations, municipalities, land users) is essential to overcome the problems related to forest property regime and structure (very small holdings) and to increase the efficiency of the European Community and national grants for the management and conservation of forest. This is the best way to implement landscape-level forest management.
- the integrated planning of the restoration of the forest areas affected by fire in 2003 and 2004 in Algarve and Southern Alentejo, with the active participation of local organizations and agencies related with those forest landscapes, and the co-ordination of the restoration projects, in close connexion with public and private institutions with forest-related responsibilities, in an intervention area of about 240, 000 hectares.

16 For further information, visit <http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/globalpartnership>

FAO will keep promoting the Voluntary Fire Management Guidelines as an important instrument to help develop national policies and plans, whereas community based fire management keeps being an important element of the FAO fire management projects in the region (Castaneda, 2008).

[Adaptation strategies within global, regional and national biodiversity conservation plans](#)

Review of protected areas:

- Balance preservation of the number of species and ecological complexity with preservation of landscape diversity (e.g. altitudinal range within reserves is important to allow upslope migration; heterogeneity of topography, habitat and microclimate in reserves allows greater flexibility in organisms' responses to climate change).
- Flexible zoning of reserve boundaries, development of more effective buffer zone management, and *inter-situ* management (active management of wildlife)

Some characteristics of Protected Areas that predispose them to climate change vulnerability

- Presence of sensitive ecosystem types
- Presence of species/ecosystems near the edges of their distribution ranges
- Presence of species/ecosystems that have geographically limited distributions
- Topographic and geomorphological uniformity
- Small size and high perimeter/area ratio
- Isolation from other examples of component communities
- Human-induced fragmentation of populations and ecosystems
- Existing anthropogenic pressures within and close to borders
- Presence of natural communities that depend on one or few key processes or species

outside protected areas) will play an increasing role in species distribution and migration patterns under climate change.

- Fragmentation (caused by current anthropic land use patterns and induced barriers) may be the single biggest barrier to ecosystem adaptation in a changing climate. Edge effects that accompany fragmentation expose complex habitats to climate extremes.

Assessing the vulnerability of Protected areas:

- One goal of adaptation is to ensure that the existing network of protected areas will be successful in conserving biodiversity in the future by identifying and correcting existing weaknesses.

Conservation planning has traditionally focused on preserving patterns and has acted reactively; an approach that no longer fits in a changing world (Pressey et al. 2007). A paradigm shift is needed that focuses on processes rather than patterns and that gives priority to proactive planning. This requires the development of forecasting tools by scientists, to assist stakeholders in the development of decision tools based on predictions of the response of biodiversity to on-going land-use and climate change. For instance, protection measures aiming to foster natural regeneration and/or to the reconstruction of spatial patterns in the Andalusian fir (*Abies pinsapo*) mountain forests, implied no-management or minimum management options. Consequently, in the absence of a natural minor-perturbation regime, it has led to the densification of these forests during the last decades, which has diminished the tree capability to cope with climatic stress, especially drought periods. Thus, paradoxically, the outcome of severe protection measures may be an increase in the vulnerability of endemic mountain conifer forests to climate change. In these cases, adaptation needs to climate change demand a shift to proactive management, directed to the enhancement of the canopy structural diversity, both at the stand and the landscape levels¹⁷.

Adaptation to Increase Social Resilience

Adaptation is an important part of societal response to global climate change. Planned, anticipatory adaptation has the potential to reduce vulnerability and realize opportunities associated with climate change effects and hazards (Smit & Pilfsova. 2001). Substantial reductions in climate change damages can be achieved, especially in the most vulnerable regions like the Mediterranean, through timely deployment of adaptation measures.

17 This example was extracted from Carreira et al (2008)

Society is currently highly dependent on goods and services offered by ecosystems as they are now. Climate change effects will be exacerbated by unsustainable land use changes, and consequently the opportunities for social adaptation will be reduced. The majority of Mediterranean forest dwellers are living in marginal areas, such as drylands and mountains, with limited resources which will be significantly reduced by climate change. Therefore, forest inhabitants will face additional challenges with limited adaptation options to reduce impacts, due to their strong economic reliance on natural resources and rain-fed agriculture. Hazards associated with climate change have the potential to undermine sustainable development and therefore it is important to explicitly consider hazards and risks associated with climate change in developing plans and policies to enhance social resilience (Apuuli et al, 2000).

Social resilience to climate change can be defined as the ability of a community to cope with stresses and disturbances caused by climate change (Adger, 2000). Building social resilience involves quite similar socio-economic and ecological adjustment needs to those required for promoting sustainable development strategies. In fact, we can say that the first urgent step in adaptation is to stop or reverse the existing “maladaptive processes and practices” which contribute to forest degradation and loss.

The enhancement of adaptive capacity involves a number of requirements, among which we may highlight:

- The need to improve access rights and access mechanisms to resources;
- The need to support social, gender, and intergenerational equity in the distribution of resources and benefits;
- The need to improve education and information, with respect for local knowledge, cultures and traditions;
- The need to secure adequate living standards (infrastructure, job opportunities, access to new technologies, health, education, leisure opportunities);
- The need to identify and value forest resources as accurately as possible and compensate forest communities as stewards, ensuring a sustainable outflow of resources;
- The importance of diversifying mountain farmers’ income around different forest products (e.g. rural tourism), to provide complementary benefits and working opportunities all year round, while guaranteeing sustainable harvesting;

- The need to strengthen and innovate traditional agro-forestry systems and promote the multi-functional role of Mediterranean forests, developing and promoting new market opportunities for high-quality forest products and services; and
- The need to maintain viable forest communities and improve competitiveness of rural areas.

Adaptation options to increase social resilience in forest areas will require trade-offs in order to balance all demands and replace maladaptive practices with resilient land uses. Mediterranean forest areas have low economic value for timber export, and high value for in-situ preservation of a wide range of goods and environmental services (Regato & Salman, 2008), a fact that provides numerous opportunities for climate change adaptation. The active participation of the parties concerned, especially to ensure that actions match local needs and resources, is required to effectively identify and promote climate change-resilient uses, involving local stakeholders and enhancing local adaptive capacities. This can only be achieved where adaptation is seen as a process that is itself adaptive and flexible to address the locally specific and changing circumstances that are the reality of the lives of the forest land dwellers (Burton et al, 2003).

For example, in the forest region of southern Portugal, deeply degraded by the large-scale forest fires of 2003 and 2004, a participatory assessment of past successes and failures has indicated that a comprehensive adaptation strategy requires the landscape pattern to be redesigned, with spatial redistribution and restoration of resilient land uses that favour traditional management practices as opposed to large-scale eucalyptus plantations. Planned adaptation can contribute to sustainable development, if forest landowners and users are compensated recognising the role they play as managers in natural/cultural landscapes with environmental constraints. Payments for improving/maintaining adequate mountain forestry practices (e.g. improved cork oak forest management, strawberry tree (*Arbutus unedo*) production, grazing management in fire risk areas) are geared towards enhancing the multi-functional role of forests, promoting the ecological restoration of marginal agricultural land and the development of low-production eucalyptus plantations into forest land with resilient species (e.g. re-sprouting trees and shrubs like evergreen oaks and the strawberry tree; riparian forests; grasslands). Payments are made to landowners, associations and municipalities for afforestation, increasing the economic, social and ecological benefits of forests, promoting new markets (i.e. for certified products), preventing physical risks and restoring damaged areas.

Good governance mechanisms are required to reach a broad consensus in society on what is in the best interest of the community as a whole and how this

can be achieved. A broad, long-term perspective on what is needed for sustainable human development and how to achieve the goals of such development is also needed¹⁸. This can only result from an understanding of the historical, cultural and social contexts of a given society or community.

Fair legal frameworks should be enforced impartially, providing full protection of human rights, particularly those of marginalised groups, with impartial enforcement and an independent judiciary. This will ensure that corruption is minimized, the views of community groups are taken into account and the voices of the most vulnerable in society are heard in decision-making¹⁹

Rural communities in less favoured areas (e.g. the Mediterranean mountain forest areas) are the most severely affected and the less capable ones to cope with the impacts of climate change. Recognizing this fact, the Global Environmental Facility (GEF) council proposed that 10% of the resources under the Strategic Priority on Adaptation need to be channelled to community-based activities through the mechanism of the GEF Small Grants Programme (SGP) (document GEF/C.23/Inf.8/Rev.1, May 11, 2004).

UNDP, in collaboration with the GEF SGP, has designed the Community-Based Adaptation (CBA) project to achieve the goal of reducing vulnerability and increasing adaptive capacity to the adverse effects of climate change in the focal areas in which the GEF works, building the resilience of communities, ecosystems, and resource-dependant livelihoods in the face of climate change²⁰. The CBA uses an innovative system for monitoring and evaluation, termed the Vulnerability Reduction Assessment (VRA). The VRA uses a system of question-based indicators to assess changes in community-level perception of their own capacity to adapt to changing climate, and forms an index. UNDP is implementing a pilot project under the CBA framework in Morocco, focusing on three focal sectors and regions, including forest resources in the Middle Atlas Mountains²¹.

18 <http://www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/Ongoing/gg/governance.asp>

19 <http://www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/Ongoing/gg/governance.asp>

20 <http://sdnhq.undp.org/gef-adaptation/projects>

21 <http://www.undp-adaptation.org/project/cba>

Rural Livelihoods and Ecosystem Services, The Plan Vivo Experience

A. Morrison

Plan Vivo is a system for monitoring the supply of voluntary emissions reductions (VERs) from sustainable land-use projects in developing countries. It is developed and governed by a not-for-profit company, BioClimate Research and Development (BR&D), who register and review projects, and issue Plan Vivo Certificates, each representing one tonne of CO₂ plus additional livelihood and ecosystem benefits.

Market mechanisms such as payments for ecosystem services (PES) help to cover short-term losses incurred in moving towards more sustainable land use, and create meaningful incentives for the rural poor. Overall, aid schemes have been found to be ill suited to creating permanent land-use changes, as they fail to impose conditions or create meaningful incentives. Instead of empowering communities, they often perpetuate an aid-dependency culture

How do Communities Benefit?

Many rural households are extremely vulnerable to changes that may be brought about by climate change, such as crop failure from drought or damage from floods or fires. Livelihoods are only sustainable when they can cope with and recover from stresses and shock. Plan Vivo projects help increase social and physical resilience to climate change by building capital in the following ways:

- 1) Financial.** Well-managed forestry/agroforestry activities have the potential to make poor rural families better able to cope with the impact of climate change, increasing the range of foods, fuel and income-generating opportunities. Diversified sources of income from carbon payments and timber or non-timber tree products enable farmers to invest in sustainable, economically viable systems that reduce dependency on aid or government support.
- 2) Natural.** Trees make the physical environment more resilient, improving water and biodiversity conservation, protecting crops, preventing soil erosion and increasing productivity (with little input of labour) through nutrient recycling and shade. By introducing agroforestry systems, farmers benefit from more balanced agricultural systems and become less vulnerable.
- 3) Human and social.** Farmers become more socially resilient through the relationships that are cultivated during a project's lifespan. Through joining groups, and sharing skills and knowledge, communities can

build networks that reduce their vulnerability. By staging payments over a number of years, during which farmers receive continued training and support, they come to see value in their trees, and sustainable practices become embedded in the area. Communities may also gain better access to land through projects where project coordinators are able to help groups secure legal land tenure.

- 4) Physical.** Farmers can gain access to better equipment, seedlings and other means that increase their capacity to sustainably manage their resources.

Enabling Conditions

- Existing local organisational capacity and local willingness to engage, as well as strong co-ordinating organisations with a long-term presence in the area that are able to create effective governance structures.
- Security of land tenure.
- Clearly defined management objectives over and above carbon payments

Lessons Learned

- Start small and learn by doing, use simple processes (not rigid design) and build capacity through knowledge, technology and skills transfer. Scaling-up from smaller pilot schemes also reinforces strong risk management increasing the likelihood of permanence.
- Emphasis should be placed on community-led design, risk management and long-term sustainability.

Extracted from a case study of the IUCN-WWF workshop “Adaptation to Climate Change in Mediterranean Forests Conservation and Management”

Capacity-Building Adaptation Needs

Capacity building (CB) enables the social system, especially institutions, to create adequate frameworks and develop actions aimed at adapting to climate change. The main objective of capacity building is to improve the institutional framework through actions taken to increase the knowledge, the skills and the motivation of relevant target groups to implement and monitor successfully climate change adaptation measures (Figure 6) (Stein, 2008).

The following elements should be considered in the capacity building process to enhance the ability for adaptation of all relevant actors in the forest sector:

- Involvement of society:
 - a) Understand the need to impulse adaptation measures
 - b) Identify and share best practices from traditional knowledge on adaptation to environmental changes
 - c) Educate, inform and encourage behaviour change.
- Research
 - a) Identify, test and improve adequate adaptation measures
 - b) Successfully implement them
 - c) Monitoring at all levels;
 - d) Greater integration of disciplines (genetic, ecological, silviculture, social, economics, etc.) is required.

Capacity building programmes should be organised following a number of steps (Stein, 2008):

- Step 1: Raise awareness on the need for adaptation and understand local perceptions on environmental changes, impacts and vulnerabilities.
- Step 2: Define adaptation measures (AM), involving all concerned actors and considering both traditional knowledge and innovative options.
- Step 3: Define actors needed to promote and implement adaptation measures (Capacity Building of Target Groups).
- Step 4: Define the priority skills and knowledge necessary for the target groups to successfully implement the adaptation measures (CB needs assessment).
- Step 5: Define a capacity building plan: methods, contents and tools.
- Step 6: Follow up support through a collaborative implementation.
- Step 7: Monitoring /Evaluation.

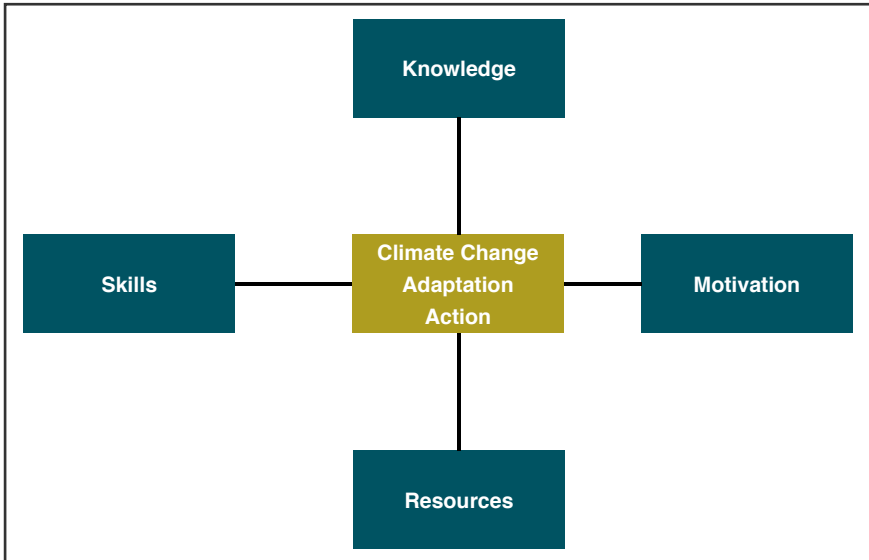


Figure 6. Capacity Building components in Climate Change Adaptation (Source: C. Stein, 2008)

Capacity-building programmes should take place at local, national and regional levels. It is important for stakeholders and donor agencies to recognize both the role that research institutions may play as centres of excellence, and the value that traditional knowledge may have in developing innovative adaptation options. Enhanced support is needed for a capacity-building plan involving a package of options:

- Establishing and strengthening centres of excellence on Mediterranean forests and climate change adaptation, in the north, south and eastern parts of the region;
- Building up regional networks and exchange programmes, linking centres of excellence and handicapped areas.
- Further integrated research (both biology and social sciences) to understand and model the effects of climate change on forests ecosystems and inhabitants, and to prioritize conservation and rural development efforts.
- Building up twining initiatives between trans-boundary forest areas and regions sharing common ecological values (e.g. north-south initiatives, like the Transcontinental Biosphere Reserve between Andalusia and northern Morocco), helping stakeholders discuss common problems and opportunities,

share lessons learned and adapt solutions to fit well with each socio-economic reality;

- Conducting workshops, and in-service training programmes, following the “learning by doing” approach, for stakeholders in all sectors to help the development of specialized tools for planning and implementing adaptation activities;
- Revising university curricula to introduce climate change adaptation theory and practice in all relevant studies;
- Making available specific leadership programmes, so as to empower key actors at local, regional and national levels. The longstanding efforts needed to succeed in such a challenging venture require strong “leaders” within the different stakeholder groups – especially at the grassroots level.

A good foundation on cooperation among researchers and institutions are the different EU funded programmes on climate change adaptation addressing Mediterranean forest issues, like:

- The SilviStrat project (Silvicultural Strategies to Climate Change in Management of European Forests), that have the following objectives:
 - a) Analyse direct and indirect impacts of present forest management regimes and operations on sequestration and storage of carbon in European forests, and to develop a better understanding of how management regimes and operations could be improved to maintain a sustainable forest production at the same time as the carbon sequestration capacity of European forests is increased under current and changing climate conditions;
 - b) Analyse adaptive forest management strategies aimed at reducing the impacts of drought and other adverse effects of climate change;
 - c) Assess how adaptive forest management strategies for increased carbon sequestration in the major European forest types might affect costs and returns at the management unit level;
 - d) Assess how to optimise management operations in representative management units of major European forest types with the goal of increasing carbon sequestration and maintaining a sustainable forest production under changing climatic conditions; and

- e) Estimate the potential of forest management at the European scale on carbon sequestration and mitigation of climate change induced impacts (<http://www.efi.fi/projects/silvistrat>).
- The ADAM Integrated Project (Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy), with the objectives of :
 - a) developing and appraising a portfolio of options that could address shortfalls of existing adaptation and mitigation policies;
 - b) assessing whether existing mitigation and adaptation policies can achieve a tolerable transition to a world no more than 2°C warmer than pre-industrial levels; and
 - c) developing a Policy Appraisal Framework that will help develop better climate policies in the future. The project is based on four domains:
 - 1) Scenarios that guide the ADAM analyses;
 - 2) Policy Appraisal for the analytical and deliberative appraisal of climate change policy options;
 - 3) Adaptation for the analysis of impacts, vulnerabilities and adaptation options for slow onset change and extreme events; and
 - 4) Mitigation for the analysis of mitigation policy options – globally and for the EU and its Member States.
- The ENSEMBLES project, with the objectives of:
 - a) Developing an ensemble prediction system based on the principal state-of-the-art high resolution, global and regional Earth System models, validated against quality controlled, high resolution gridded datasets for Europe, to produce for the first time, an objective probabilistic estimate of uncertainty in future climate at the seasonal, decadal and longer timescales;
 - b) Quantifying and reducing uncertainty in the representation of physical, chemical, biological and human-related feedbacks in the Earth System; and c) Maximising the exploitation of the results by linking the outputs to a range of applications, including agriculture, health, food security, energy, water resources, insurance and risk management (<http://www.ensembles-eu.org>)

- The CIRCE project, which aims at developing for the first time an assessment of the climate change impacts in the Mediterranean area. The objectives of the project are:
 - a) to predict and to quantify physical impacts of climate change in the Mediterranean area;
 - b) to evaluate the consequences of climate change for the society and the economy of the populations located in the Mediterranean area;
 - c) to develop an integrated approach to understand combined effects of climate change; d) to identify adaptation and mitigation strategies in collaboration with regional stakeholders (<http://www.circeproject.eu>).
- The DeSurvey project, which aims to develop a prototype of a low cost and flexible surveillance system that allows :
 - a) Understanding of desertification in a systemic and dynamic way;
 - b) Assessing desertification and land degradation status, including diagnosis of driving forces and identification of desertification hot spots;
 - c) Forecasting of desertification under selected climatic and socio-economic scenarios;
 - d) Monitoring of desertification and land degradation status over large areas using objective and reproducible methods;
 - e) Bridging the gap between the knowledge generated by the project on the processes underlying desertification and the practice of formulating policy to detect, prevent and resolve desertification risks (<http://www.desurvey.net>).
- The GLOCHAMORE (Global Change in Mountain Regions) project, a joint initiative of UNESCO-MAB and the Mountain Research Initiative (MRI) funded by the EU²², with the objective to detect signals of global environmental change in mountain Biosphere Reserves across a network of observation, involving both natural and socio-economic systems. Two Mediterranean mountains are part of the research network: the Biosphere Reserve of the

22 EU Sixth Framework programme on "Global Change and Ecosystems".

Oasis du Sud Marocain (Morocco) and the Biosphere Reserve of Sierra Nevada (Spain).

- The EUFIRELAB project, with the principal objective to become a “network of excellence” for wildland fire sciences and technologies, to enable large exchange of knowledge, know-how, data, results and analysis for improving the level of the wildland fire sciences and technologies in the Euro-Mediterranean area. Moreover, this research network will:
 - a) develop common concepts, approaches, and “languages”;
 - b) elaborate common methods and protocols for research and/or technological development activities; integrating the specific spatial scales and diverse roles of the Euro-Mediterranean wild-land areas, (<http://www.eufirelab.org>).
- the Fire Paradox project, promoting the wise use of fire as a way to prevent unwanted wildfires. The training of professionals on the use of suppression fire in Portugal was a major change in the last 2 years with very encouraging results (Rego, 2008).

In addition to these regional efforts, Mediterranean countries are also implementing actions at a national level, as for instance the Spanish *GlobiMed* network²³ which analyses the impacts of intense and long-standing drought periods in forest dieback events in mountain forests within the Mediterranean biogeographic region in the country.

Recently, the UN has launched a joint programme (UN participating organizations in the country are UNDP, UNEP, UNICEF, FAO and UNIDO) for enhancing the capacity of Turkey to adapt to climate change (Zaim, 2008). The core objective of the Joint Programme is to develop capacity for managing climate change risks to rural and coastal development in Turkey. This will be achieved by mainstreaming climate change adaptation into the national development framework, building capacity in national and regional institutions, piloting community-based adaptation projects in the Seyhan River Basin, and integrating climate change adaptation into all UN agencies in Turkey.

The International Union for the Conservation of Nature (IUCN) is developing work on capacity-building for adaptation through the Community-based Risk Screening

23 <http://www.globimed.net>

Tool-Adaptation and Livelihoods (CRISTAL) (Riche, 2008). This tool is designed to help reduce impacts of climate change on community livelihoods. It was first tested in an IUCN project in Mali (Inner Delta of the Niger River) and is to be made widely available after further tests.

Public awareness in the forestry area needs to be risen on the reality and effects of climate change. Climate change related considerations need to be included not only within gene, species and habitat conservation networks, but also in everyday forestry management and practice, at the national as well as at international level (e.g. range-wide Mediterranean level) (Fady, 2008). According to this author, some urgent topics need to be addressed, and it would be desirable to remind policy makers and managers that the Mediterranean may contain genetic novelty that could be used for European forests under climate change scenarios.

Institutional and Policy Frameworks to Support Adaptation Options

Among the many challenges that climate change imposes on society, perhaps the most important is approaching climate change holistically, by considering the impacts on a wide range of systems and on the interests and problems of many stakeholders. The need to unify global efforts arises from three factors (Robledo & Forner, 2005):

- Climate change impacts will be exerted on every sector of society and on the systems that support its development;
- The distribution of these impacts has been, and always will be, unequal – some people will be affected more than others;
- There is a lack of understanding of climate change and its effects.

Incorporating or integrating adaptation to climate change as a cross-cutting component of the different sectoral policies is a necessary strategy for sustainable development over the long term. Climate change impacts do not happen in isolation; impacts in one sector can adversely or positively affect another; sectors can be affected directly and/or indirectly by climate change and indeed sometimes a change in one sector can offset the effects of climate change in another sector (UNFCCC, 2007)

Adaptation requires flexible policies, spatial planning and management practices to enhance the inherent adaptability of species and habitats and reduce trends in human-induced pressures that increase vulnerability to climate variability” (Hulme, 2005).

The adaptation process depends on having a strong and coherent institutional base. Institutions provide or identify financial, technical and human resources, and set up organizations responsible for developing specific objectives. Generally, addressing social and development issues at the national level begins with the establishment of a policy. In the case of adaptation, as an alternative to designing a specific adaptation policy, it is also possible to establish a policy framework that generates institutional space to include adaptation as an essential element of existing national and sectoral policies. This approach both recognises the cross-cutting nature of climate change and contributes to more efficient use of resources and existing institutions (Robledo & Forner, 2005).

A national policy framework for adaptation should fully engage all stakeholders including governments, institutions, NGOs and the private sector, to be designed according to a country's existing institutional, social and economic situation, so that it can be linked in with current policies. It should provide the outline for a national strategy to reduce vulnerability and coordinate actions related to climate change with actions in other sectors. Policy mechanisms for adaptation are:

- Legal and regulatory measures;
- Financial and economic measures;
- Public participation measures.

National adaptation strategies are under preparation in few European Mediterranean countries (e.g. France), several countries are undertaking comprehensive multi-sector assessments of climate change (e.g. Portugal and Spain), and others are implementing adaptation measures in the context of hazard prevention, environmental protection and sustainable resource management (e.g. Italy and France) (Meiner, 2006). So far, adaptation to climate change is rarely mentioned in national policies, and climate change issues continue to be dominated by mitigation measures to either increase the carbon stock for sequestration or for renewable energy purposes.

There is no clear understanding how climate change adaptation can be mainstreamed into the existing legislation (e.g. European Social Fund, European Regional Development Fund, Water Framework Directive, LIFE+, Habitat Directive, EU Forestry Strategy and EU Forest Action Plan) (Neufeldt, 2008). There are, however, some broad concepts that indirectly tend to increase resilience against climate change through better collaboration between stakeholders and coordination of activities, research into more drought resistant species and multifunctional landscapes, diversification of forest production, forest monitoring and early warning systems. Implementation of these measures into

national and regional legislation is not complete and seems to be complicated by the great number of different actors involved and possibly because of inconsistencies between the different levels (Neufeldt, 2008).

The European Commission Green Paper on Adaptation²⁴ makes reference to these issues so that it can be expected that a clearer European strategy will emerge at the end of 2008. The Green Paper recognises that there is a need for "multilevel governance" as the "severity of the impacts will vary from region to region, depending on physical vulnerability, the degree of socio-economic development, natural and human adaptive capacity, health services and disaster surveillance mechanisms". It defines four priority options for a flexible, four-pronged approach:

- Early action to develop adaptation strategies in areas where current knowledge is sufficient;
- integrating global adaptation needs into the EU's external relations policy and building a new alliance with partners around the world;
- filling knowledge gaps on adaptation through EU-level research and exchange of information;
- setting up a European advisory group on adaptation to climate change to analyse coordinated strategies and actions.

□ Cooperation Opportunities

Integrating adaptation concerns into national policies is not an easy task, especially in the southern and eastern Mediterranean countries, due to a number of constraints (UNFCCC, 2007):

- poor data on adaptation options and lack of mechanisms for information sharing and management across sectors;
- low staff capacity for planning, implementing, monitoring and evaluating adaptation options;
- widespread illiteracy and poverty of the rural population;
- limited awareness of adaptation among stakeholders and the population;
- political instability.

24 For further information, visit <http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation>

UNFCCC, Kyoto Protocol (especially the Nairobi Work Plan) and other instruments created helpful mechanisms and programs for reducing vulnerability and helping people and ecosystems, including forests, in adaptation to climate change. Added relief and even some opportunities for this strongly affected and highly vulnerable region around the Mediterranean could originate from strong regional cooperation and harmonization of efforts in future negotiations on a post-Kyoto regime (Castaneda, 2008).

South-South and North-South cooperation on adaptation is an effective tool for broadening knowledge and sharing experiences on adaptation options, and promoting collaboration frameworks (e.g. networks, twinning protocols, intergovernmental commissions and forums) for the implementation of adaptation measures (joint projects) in Mediterranean countries sharing similar effects from climate change on forest ecosystems. The activities considered most effective for regional collaboration are projects helping to identify common problems and solutions, such as developing national climate change scenarios, solving trans-boundary adaptation issues such as with water resources, and developing 'sister' projects between countries facing similar challenges (UNFCCC, 2007). Mechanisms for regional cooperation involve a wide-range of bilateral and multilateral cooperation initiatives and funding by inter-governmental agencies, governments, institutions and non-government agencies. It is important to engage fully the private sector active in the southern and eastern part of the region in adaptation planning and implementation to ensure a long-term and sustainable approach to adaptation.

Promoting better access to funding and synergies with sources of funding external to the climate change process is vital. UNEP and UNDP have launched a joint climate change adaptation initiative (The UNDP-UNEP Partnership on Climate Change) which aims to broaden the existing cooperation between the two organizations to help countries achieve sustainable development in the face of a changing climate (UNEP, 2006). One of the two core objectives of the Partnership is "to incorporate adaptation into national development plans and UN Cooperation Frameworks", through a three-pronged approach:

- *National development strategies:* UNDP and UNEP will help countries assess their vulnerability to climate change and incorporate adaptation concerns into the formulation and implementation of their national policies and investment plans. Strong synergies between climate change risk reduction and sustainable development can be realized by mainstreaming adaptation concerns into efforts to achieve development priorities such as land management and tenure; food security and especially water availability and quality; as well as broader development priorities such as governance and gender issues.

- *UN Country Programming:* The Partnership will help United Nations Country Teams integrate climate risk into the formulation and implementation of key UN cooperation frameworks, and will help countries address practices that increase vulnerability to climate change and strengthen their capacity to cope with both present weather variability and a changing climate.
- *Pilot projects:* Adaptation is a new and complex field of work, requiring decisions about longterm investments in the face of high uncertainty. As the manager of the UN coordination system at the country level, UNDP will bring to bear the collective expertise from all concerned UN agencies to pilot adaptation measures in key affected sectors such as agriculture/food security; water resources and coastal development. UNDP and UNEP will also facilitate the access of all concerned UN agencies to GEF-managed climate change funds. These projects will help countries to assess climate change impacts, evaluate adaptation options, develop policy and response measures and prioritize follow-up investment. Findings from these pilot projects will feed back into policy advisory services that mainstream adaptation into national development plans and UN cooperation frameworks.

Some southern Mediterranean countries are currently in the process to include adaptation measures in their national action plans and/or national environmental action plans as a first step towards implementation of adaptation. Tunisia has invited Germany to assist with the development of an innovative and comprehensive climate protection project. The GTZ's Climate Protection Programme for Developing Countries (CaPP) has supported a project in this country with two main objectives:

- a) a Clean Development Mechanism (CDM) component, in order to open up and benefit from the financial and technical opportunities available to projects undertaken within the CDM framework;
- b) the development of strategies and concepts for adaptation to climate change (Benjamin, 2007)

The World Bank funded project in Morocco "Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector" has also as a main objective to provide policy makers with an order of magnitude of climate change impacts, in physical and economic terms, on the agriculture sector, and to identify priority policy options for adaptation²⁵.

25 For further information, visit <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/MENAEXT>

FAO is assisting Morocco under the framework of this project, through a study on the impact of climate change on crop yields²⁶. The sequential steps followed in this project are:

- a) Developing climate change projections,
- b) Assessment of climate change impacts on agriculture (crops),
- c) Assessing potential impacts on farming systems,
- d) Assessment of economic impacts, and
- e) developing policy relevant adaptation options. The approach adopted for assessing the impact of future climate on crop yields in Morocco is based on the experience of FAO in establishing and operating real time crop yield forecasting systems in a number of countries worldwide in a food security context.

26 For further information, visit <http://www.fao.org/climatechange/49385/en/mar>

6 | Annex

ATHENS STATEMENT

Adaptation to Climate Change in Mediterranean Forest Conservation and Management

April 2008

Preamble

From 14 to 16 April 2008, Mediterranean experts, scientists, NGOs, conservationists, government officials and international organizations met in Athens, Greece to discuss issues related to the impacts of climate change on Mediterranean forests adding to the already ongoing threats and challenges impacting these ecosystems and the people depending on them, and to search for adaptation opportunities and options to enhance their social and environmental resilience.

Mediterranean forests, woodlands and scrub, situated in a transitional zone between the European, African and Asian continents, are one of the planet's centres of biological diversity and are linked to outstanding cultural features. The Mediterranean vegetation includes 25,000 floral species, representing 10% of the world's flowering plants on just over 1.6% of the Earth's surface. It is also the second world leader in plant endemism, with an estimated 50%(13,000) of these species found nowhere else on Earth. Species groups with a pan-European distribution, such as fir, beech, pine and oak have the highest species diversity in the Mediterranean region, and the Mediterranean populations are often the most variable in terms of genetic diversity. Furthermore, Mediterranean forests also host an amazing faunal diversity, especially when expressed by the ratio between species richness and area.

Forests provide vital environmental services – soil, water catchments, timber, food and medicine, stabilization of urban microclimates, recreation, etc. – on which society depends. This is extremely significant in extreme environments like the Mediterranean climate, where water shortages constitute the main limiting factor

and the irregular distribution of water can easily activate soil erosion and water run-off if forest cover is lost.

Rapid and abrupt land-use changes, mainly due to development pressures and urban sprawl, habitat fragmentation, resource overexploitation and poor management, are the main drivers of Mediterranean forest degradation. Climate change adds to these pressures, mainly through an increased incidence of heat waves, droughts and overall temperature rise, and could eventually overstretch the resilience and adaptive capacity of the Mediterranean forest ecosystems.

Recognising that:

- climate change is occurring and that it is exacerbating existing pressures and drivers of forest loss and degradation;
- forest wildfires are among the most direct and immediate consequence of climate change upon Mediterranean forests, and that climate change impacts, such as extended periods of drought and extreme meteorological phenomena (heat waves and strong winds), combined with unsustainable changes in land use, bad management practices, lack of awareness and lack of adequate fire management strategies, are contributing to the alarming trend of increased frequency, intensity and extent of fires;
- Mediterranean countries share common conservation and socio-economic development themes despite the significant disparities that are still present along the shores of the Mediterranean sea in terms of per capita gross domestic product, forest area coverage and land-ownership structure;
- despite the efforts deployed, Mediterranean forest ecosystems present a level of degradation that is still alarming, threatening the natural resources and cultural heritage therein;
- climate change, compounded by “maladaptive” processes and inadequate land uses (e.g. unsustainable rapid land-use changes, rural abandonment and overexploitation of land resources), are likely to reduce the adaptability of Mediterranean forest to autonomously accommodate climate change, and increase the frequency and intensity of pathogen outbreaks, dieback events, uncontrolled fires and other large-scale disturbances;
- the Mediterranean people and economies will be chiefly affected by the diminishing of forested areas, usually replaced by fire-prone shrub communities, increased landscape fragmentation, which may consequently

impede migration/dispersal opportunities for a number of species at risk of extinction, and decrease of annual increments and the subsequent income from forests;

The participants:

- **Urge all Mediterranean countries to mainstream fire risk reduction and climate change adaptation needs into all sectoral policies, regulations and rural/urban development plans linked with forest ecosystems, at the national, regional, and EU levels**
 - a) Continuing to improve cooperation between the government, scientific community, NGOs, civil society groups and international organisations for the participatory planning and designing of fire-smart landscapes;
 - b) Strengthening relations between managers of forests and rural areas and local communities, to ensure that forests are perceived as opportunities for increased livelihood and for the promotion of mechanisms for sustainable rural development, through information dissemination and public awareness;
 - c) Supporting the development of participatory rural planning processes that empower land users and rural populations and provide them with resilient land uses and good practices relevant to adaptive farming habits and fuel reduction in forest landscapes;
 - d) Raising awareness of the urgent need to adopt a new “learning to live with fire” approach, with the aim of changing fire regimes to acceptable levels from a social, economic and environmental perspective, instead of a strict forest fire suppression strategy.
- **Urge all Mediterranean countries to shift from predominantly natural catastrophe response strategies, like fire fighting, to integrated fire (or any other major disturbance) management strategies and policies, which**
 - a) Incorporate five key components: (1) research on forest fire dynamics and root causes of fires; (2) risk reduction and prevention; (3) readiness; (4) response; and (5) recovery;
 - b) Stress the essential need to accentuate measures for the implementation of innovative fire management actions, assessing the effectiveness of tools and policies relevant to fire risk reduction, prevention and control,

and integrating vulnerability reduction and fire prevention as part also of wider landscape planning tools and management practices;

- c) Recognise the essential role that rural people can play in fire vulnerability reduction, and the need for participatory planning processes supporting the identification and adoption of resilient land uses and landscape patterns;

- **Urge all Mediterranean countries to jointly develop, assess the effectiveness, and fine-tune climate change adaptation strategies and tools through case studies**

- a) Rethinking individual Protected Areas and regional and national PA networks, based on the wider landscape scale “ecosystem approach”, and securing provisions for both *in situ* persistence of unique Mediterranean reservoirs of forest diversity (genotypes, species and communities), and for the facilitation of species migration needs;
- b) Providing recommendations to forest and land managers to increase forest resilience to climate change, such as the increase of diversity at all levels (genotypes and species composition in forest stands; habitat types and the mosaic character of forest landscapes), changes in silvicultural practices (e.g. thinning for wider spacing to improve resistance to drought conditions and water shortages; longer rotation periods to increase carbon sequestration), and changes in soil management practices (e.g. low tillage and maintenance of permanent soil to reduce erosion rates and downstream flooding and increase water absorption and retention);
- c) Encouraging forest managers, scientists and practitioners to actively assess and promote the economic valuation and sustainable use of forest products and services, a key step to reduce existing pressures on natural ecosystems and increase the capacity of ecological and social systems to accommodate to climate change;
- d) Encouraging forest landscape restoration initiatives that contribute to maintaining the basic ecological processes and biodiversity values, to build landscape patterns, habitats and species compositions that are more resilient to large-scale disturbances like fire, and provide a wide range of benefits for rural societies.
- e) Promoting successful results from existing projects and initiatives aimed at increasing the resilience of Mediterranean forests and people to global

change impacts and fostering their replicability and adaptation through the development of further relevant initiatives addressing the different Mediterranean ecological and socio-economic contexts;

- **Express the urgent need for Mediterranean North-South cooperation at all levels to face threats, specifically in terms of improving knowledge sharing, scientific research, developing capacities, and developing partnerships for the implementation of adequate climate change adaptation processes in terms of conservation of biodiversity and cultural values, and nature resource management**
 - a) The establishment of a body of experts of Mediterranean countries is suggested, to regularly meet to study and evaluate changes and their expected impacts which may affect Mediterranean ecosystems and rural societies at large and develop and propose measures and policies;
 - b) The scientific community should commit to making knowledge and science easily accessible to people and decision makers, and work together with communicators and other relevant actors to facilitate the use of a common language, economic valuations, case studies and visual tools;
 - c) All practitioners should commit to exchanging information, experiences and expertise, and work together through regional networks with a balanced “North-South” approach, to promote concrete initiatives on research and monitoring as well as activities aimed at building capacity at all levels;
 - d) A culture of continuous training, development of know-how and exchange of experiences is essential to have skilled land users participating in vulnerability reduction and fire prevention actions and integrating them into their management practices, to create fully-operational modern, equipped and specialized forest fire-fighting units, and to secure effective coordination systems involving public authorities, land managers, scientific institutions and fire-fighting units.
 - e) Engaging the private sector as partners in conservation, management and restoration work is essential;
 - f) The international organisations of the Mediterranean region such as IUCN, WWF, FAO, UNDP, including the various national and international networks, should commit to increasing collaboration on Mediterranean forests and climate change adaptation, in order to ensure strong

representation of Mediterranean forests in international environmental policy and fora;

- g) Countries in the region should urgently position forest conservation and sustainable management to become a priority at the national, regional and EU levels, and develop powerful tools to raise awareness and educate societies on the services that Mediterranean forest ecosystems provide.

The participants, furthermore:

- Recognise the important role that Mediterranean countries play in ensuring the presence of highly trained technical and political representation in the international negotiations and fora that deal with forest policy issues;
- Request that governments and all relevant regional partners work together to ensure wide distribution of the conclusions and outcomes of the meeting.

The participants recognise that this statement can only be implemented in the context of cooperation and solidarity in our region.

Adaptación al cambio global

Los bosques mediterráneos

Pedro Regato

La denominación de las entidades geográficas en este libro, y la presentación del material no supone la expresión de ninguna opinión por parte de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), UICN, WWF, o FAO en lo que se refiere al status legal de ningún país, territorio o área, o de sus autoridades, o referido a la delimitación de sus fronteras o límites.

Los puntos de vista expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), UICN, WWF, o FAO. La UICN y otras organizaciones participantes deniegan su responsabilidad en cualesquiera errores u omisiones en la traducción de este documento de la versión original en inglés al español.

Esta publicación ha sido posible a la financiación de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Publicado por: UICN, Gland, Suiza y Málaga, España
Coeditado por: UICN, WWF y FAO
Copyright: © 2008 International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
Se autoriza la reproducción de esta publicación con propósitos educativos o no comerciales, sin la autorización previa del propietario del copyright si la fuente se reconoce completamente. Está prohibida la reproducción de esta publicación para su posterior venta u otros propósitos comerciales sin la previa autorización por escrito del propietario del copyright

Citación: Regato, Pedro. 2008. *Adaptación al Cambio Global. Los Bosques Mediterráneos*. Málaga, España: UICN Centro de Cooperación del Mediterráneo. ii+254 pp.

Colaboradores en el informe: Mokadem Aissa; Nora Berrahmouni; Cassandra Brooke; Miguel Bughalo; José Antonio Carreira; Froylan Castaneda; Marco Conedera; Bruno Fady; Christos Giannakopoulos; Paul Grigoriev; Dionisia Hatzilacou; Lourdes Hernández; Habib Kachouri; Sedat Kalem; Petros Kakourous; Nikolaos Kasimis; R. Alexander Kastl; Zoi Katsioti; Mouna Khaznadar; Hala Kilani; Constantinos Liarikos; Giannis Mahairas; Tahar Mahdid; Nera Markovic; Alexa Morrison; Henry Neufeldt; Tunçay Neyisci; Aristotelis Papageorgiou; João Pinho; Kalliopi Radoglou; Ioannis Raftogiannis; Francisco Rego; Beatrice Riche; Carole Saint-Laurent; Rami Salman; Christoph Stein; Aram Ter-Zakaryan; Alejandro Valdecantos; Daniel Vallauri; Theoharis Zagkas; Katalin Zaim; Draganica Zaja.

ISBN: 978-2-8317-1098-3
Traductores: Simon Beswetherick (corrector del inglés); Isabel Moyano (traducción al español); Martine Paulin y Alexandra Salmon-Lefranc (traducción al francés).

Depósito Legal:
Diseño: Chadi Abi Faraj
Foto de cubierta: Pedro Regato
Producido por: UICN Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN-Med)
Impreso en: Solprint, Mijas (Málaga), España
Disponible en: UICN Centro de Cooperación del Mediterráneo
C/ Marie Curie 35
29590 Campanillas, Málaga, España
Tel: +34 952 028430 - Fax: +34 952 028145
<http://www.iucn.org/publications>

Este libro está impreso en papel



Índice

Prefacio	83
1- Introducción	85
2- Tendencias del cambio climático	87
□ Evidencias actuales de cambio climático en la región mediterránea	88
□ Tendencias previstas de cambio climático en la región mediterránea	92
3- ¿Qué podemos aprender de los cambios climáticos del pasado para afrontar los del futuro?	97
□ Migración de especies en respuesta a los cambios climáticos pasados	97
□ Adaptación <i>in situ</i> de las especies a los cambios climáticos pasados	103
4- Impactos actuales y previstos del cambio climático en los bosques mediterráneos	105
□ Cambios ecológicos	105
□ Incendios forestales a gran escala	112
□ El fenómeno de la “seca”	115
□ Plagas forestales	116
□ Especies invasoras	116
5- Adaptación al cambio climático	117
□ ¿Qué es la adaptación?	117
□ Los bosques y la adaptación al cambio climático	118
□ Opciones de adaptación para los bosques mediterráneos	121
□ Adaptación para aumentar la resiliencia social	132
□ Necesidades de adaptación para el desarrollo de capacidades	135
□ Marcos institucional y político para apoyar las opciones de adaptación	144
6- Anexo: Declaración de Atenas	151
Bibliografía	245

Prefacio

Los bosques se encuentran entre los ecosistemas más importantes del Mediterráneo, debido tanto a la alta biodiversidad que albergan como a los servicios medioambientales que ofrecen. Los cambios rápidos y bruscos en el uso de la tierra, debido a técnicas de gestión deficientes tales como la sobre-explotación, las presiones del desarrollo y del mercado internacional, la degradación y pérdida de los hábitats naturales y la contaminación, son algunos de los principales factores que repercuten negativamente en los bosques mediterráneos conllevando su degradación. Si a estos factores se le añade el cambio climático, especialmente en lo que se refiere al aumento de episodios climáticos extremos como olas de calor, lluvias torrenciales, periodos de sequía y fuertes temporales, la resiliencia y la capacidad de adaptación de los bosques se verán drásticamente reducidas.

Los incendios forestales incontrolados a gran escala constituyen las consecuencias más directas e inmediatas del cambio climático que afecta a los bosques mediterráneos. Los impactos del cambio climático, combinados con los cambios en el uso de la tierra y la mala gestión de los bosques agravan el aumento de la frecuencia, intensidad y extensión de los incendios. Esta tendencia se ha observado principalmente en la orilla norte de la región mediterránea, especialmente en Portugal, sur de Francia, España, Italia y Grecia, durante los dos últimos decenios. Si estas condiciones prevalecieran en las áreas meridionales del Mediterráneo, las consecuencias para los ecosistemas forestales de toda la región serían dramáticas.

Afrontar el cambio climático es una prioridad urgente para los gobiernos de la región, las instituciones de investigación y las organizaciones internacionales que trabajan en esta región. La UICN, WWF y la comunidad conservacionista en general, se han involucrado en tareas sobre el cambio climático en relación con los bosques, incluyendo entre otras cuestiones, el desarrollo de estrategias de adaptación para gestionar las incertidumbres provocadas por el cambio climático y la creación de resiliencia ecológica y social.

El Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN-Med), la oficina del Programa Mediterráneo de WWF y la organización WWF en Grecia reunieron a una serie de organizaciones miembros, socios y expertos en un taller titulado “Adaptación al

Cambio Climático en la Conservación y Gestión de los Bosques Mediterráneos”, celebrado en Atenas del 14 al 17 de abril de 2008. Durante el taller, participantes de ONG regionales, instituciones de investigación, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como gestores forestales y de áreas protegidas, analizaron las necesidades y las oportunidades para aumentar la resiliencia social y forestal ante el cambio global. En el taller se debatieron las predicciones del cambio climático para la región y se presentaron estrategias y herramientas cuya eficacia ha quedado demostrada en otras regiones.

Los participantes del taller elaboraron una declaración conjunta (la Declaración de Atenas), que se incluye como Anexo en esta publicación. En ella se urge a todos los países mediterráneos a desarrollar, evaluar la eficacia y ajustar conjuntamente las estrategias y herramientas de adaptación para reducir el riesgo del cambio climático. La declaración también expresa la urgente necesidad de cooperación norte-sur en la región.

El taller ha sido co-esponsorizado por el Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN y el Programa Mediterráneo de WWF, así como por las fundaciones A.G. Leventis, I.S. Latsis y Bodosakis, que financian el programa de WWF Grecia “Bosques para el futuro”.

Esta publicación representa un primer paso en el desarrollo de un programa de trabajo y estrategia conjuntos sobre la adaptación de los bosques mediterráneos al cambio climático, incluyendo la aportación de organizaciones internacionales como la FAO, PNUD, GTZ, WWF y UICN, así como de sus socios y organizaciones miembros, de gestores y usuarios forestales, de gobiernos, de instituciones de investigación y del sector privado.

Esta publicación ha sido elaborada gracias al apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

1 | Introducción

Los ecosistemas son sistemas dinámicos en permanente adaptación a los cambios ambientales. Los ecosistemas forestales mediterráneos han afrontado en el pasado numerosos cambios en el clima, reponiendo de distintas formas (tolerancia al cambio ambiental debido a la plasticidad genotípica de ciertas especies; adaptación a través de procesos evolutivos con la aparición de especies, subespecies o genotipos nuevos; migración a lugares apropiados; extinción). Una prueba de su capacidad para adaptarse a cambios ambientales bruscos y persistir incluso a lo largo de milenios está en el número importante de especies relictas del Terciario y paleoendemismos que caracterizan a los bosques mediterráneos. No obstante, también hay pruebas del colapso rápido de especies arbóreas y ecosistemas forestales a los niveles local y regional, debido principalmente a cambios globales en el pasado (la combinación de cambios paleoclimáticos e impactos humanos). Algunas evidencias de desapariciones locales y regionales de comunidades forestales y poblaciones enteras de especies causadas por el fuego arbóreas durante los cambios climáticos del Holoceno, y su relación con los incendios crecientes del Neolítico provocados de manera intencionada para convertir los bosques en tierra de labor y pastoreo, son un buen ejemplo de ello (Tinner et al., 2005; Carrión, 2003).

Es de esperar que los rápidos e intensos cambios previstos para los próximos cien años en las condiciones climáticas tengan impactos significativos en los ecosistemas forestales mediterráneos. Los bosques de la región serán especialmente sensibles a los cambios ambientales, y a sus consecuencias, ya que el impacto humano sobre los mismos es considerablemente alto en esta región. Por ejemplo, los datos paleoecológicos mencionados sugieren que los ecosistemas forestales vulnerables, tales como los variados tipos de bosque de montaña de coníferas endémicas, se verían seriamente dañados si la frecuencia de incendios aumentara de forma substancial en la región mediterránea (éste ha sido ya el caso en los dos últimos decenios en la parte europea de la región). Por tanto, la conservación de los bosques mediterráneos y las políticas y prácticas de gestión deberían contribuir a la puesta en marcha de estrategias de adaptación eficaces para detener y revertir la tendencia actual a la degradación ambiental y reducir al mismo tiempo el riesgo de pérdidas inaceptables en el futuro

2 Tendencias del calentamiento global

El Cuarto Informe de Evaluación (Solomon et al, 2007) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) proporciona proyecciones más fiables sobre el cambio climático futuro, con nuevos hallazgos y avances en la comprensión de las causas, los procesos y las tendencias futuras proyectadas del cambio climático. Hay un *grado de confianza muy alto*¹ de que el efecto medio global de la actividad humana desde 1750 ha sido el de calentamiento del sistema climático, siendo la era industrial el periodo con un grado más alto de aumento de los últimos 10,000 años. La mayor parte del incremento observado en las temperaturas medias globales desde mediados del siglo XX *muy probablemente*² se debe a concentraciones de efecto invernadero antropogénicas.

Gases de efecto invernadero	Concentración atmosférica	Grado de aumento	Fuente primaria
Dióxido de carbono	Excede con mucho los límites naturales de los últimos 650,000 años, según determinación a partir de núcleos de hielo	Mayor grado de aumento anual durante los últimos 10 años	Uso de combustibles de origen fósil y en menor medida, cambio en el uso de la tierra
Metano			Agricultura y combustibles de origen fósil, aunque la contribución relativa de las diferentes fuentes no está establecida claramente
Óxido nitroso	Aumento considerable desde el valor preindustrial	Grado de aumento constante desde 1980	Más de un tercio de todas las emisiones de N ₂ O se debe a la agricultura

En conjunto, la temperatura media global ha aumentado 0,76°C (de 0,57 a 0,95°C) desde 1850, y 11 de los últimos 12 años (1995-2006) están entre los 12 más cálidos desde entonces (Kettunen et al., 2007). El Cuarto Informe del IPCC

1 Una probabilidad de 9 sobre 10 de ser correcto.

2 Hasta una probabilidad del 90%.

considera una proyección de calentamiento de unos 0,2°C por decenio para las próximas dos décadas, y la mayoría de los escenarios muestran aumentos de más de 2°C en la temperatura anual para el año 2080 comparados con las temperaturas promedio de 1960-1990 (Lindner, 2006).

En lo que se refiere a las precipitaciones, aunque se han observado pautas de cambio, aún hay considerables variaciones regionales y estacionales entre las diferentes proyecciones de los modelos utilizados, de lo que resulta un alto grado de incertidumbre. Hay una tendencia a que las zonas húmedas se vuelvan más húmedas y las zonas secas y áridas se vuelvan más secas aún (Lindner, 2007).

El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC resalta los cambios más importantes observados a largo plazo:

- Cambios en la temperatura y el hielo del Ártico.
- Cambios generalizados en las cantidades de precipitación, con tendencias a la sequía en el Sahel, el Mediterráneo, el sur de África y el sur de Asia.
- Cambios en la salinidad de los océanos.
- Cambios en los patrones de viento, con el fortalecimiento de los vientos del oeste de latitudes medias en ambos hemisferios.
- Cambios climáticos extremos, incluyendo sequías más largas e intensas sobre zonas más amplias desde 1970; episodios de fuertes precipitaciones más frecuentes en la mayoría de las zonas terrestres, olas de calor más frecuentes; y un aumento en la intensidad de los ciclones tropicales.

Evidencias actuales de cambio climático en la región mediterránea

La región mediterránea presenta un tipo genuino de clima con veranos cálidos y secos en una zona de transición entre dos zonas marcadamente diferentes (la zona templada húmeda/fría y la zona calurosa de desierto) y, en consecuencia, es altamente sensible a los cambios ambientales. Efectivamente, desplazamientos en la banda climática de tan solo unos pocos grados de latitud hacia el norte o el sur pueden ocasionar cambios drásticos, tales como la desertificación de áreas que tenían previamente un clima húmedo (Ortolani & Pagliuca, 2003).

El estudio patrocinado por WWF "*Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*" (Giannakopoulos et al., 2005) muestra evidencias de cambio climático durante la última mitad de siglo XX, con calentamiento invernal y estival en gran parte de la región y una disminución estadísticamente significativa de las precipitaciones. Estas tendencias, sin

embargo, difieren de unas subregiones a otras y según los periodos. Resaltamos los siguientes hallazgos:

- Una tendencia anual de calentamiento para el siglo XX de 0,75°C, con valores ligeramente más altos en invierno y verano (Giorgi, 2002).
- Una clara diferenciación este-oeste: la tendencia al calentamiento estival es más significativa en la parte occidental (hasta los 3°C/50 años), registrada en dos fases: desde mediados de la década de 1920 hasta 1959 y desde mediados de los 70 en adelante (Brunet et al., 2001, 2002; Galan et al., 2001).
- Tendencias a largo plazo hacia una disminución de las precipitaciones invernales (una disminución aproximada del 20%, principalmente desde 1970) se vienen observado desde 1900-2005 en la cuenca mediterránea, una región donde la lluvia es un importante factor limitante para los organismos (IPCC, 2007; Petit et al., 2005; Giorgi, 2002). Jacobeit (2003) muestra, para los tres últimos decenios, un incremento de las lluvias en otoño (Iberia occidental y sur de Turquía) pero su disminución dominante en invierno y primavera.
- Una tendencia negativa en el número de días húmedos y una tendencia hacia la concentración más intensa de lluvia en algunas áreas costeras mediterráneas, esencialmente en España e Italia.
- Un incremento en las diferencias de temperaturas día/noche: las temperaturas máximas se han incrementado en mayor grado que las mínimas.

Hay una alta confianza en que cierto número de anomalías del tiempo y cambios ambientales que han ocurrido en la región mediterránea en las décadas recientes han sido causadas por el calentamiento global. Presentaremos un número de hallazgos clave que afectan a los sistemas terrestres mediterráneos, que pueden considerarse efectos del cambio climático originados por el hombre.

□ Retroceso glaciar

España mediterránea continental³

Los pocos glaciares existentes en España, en la cara sur de los Pirineos, se están descongelando rápidamente: en 1980 había aún 27 glaciares pirenaicos, reduciéndose a 10 hacia el 2000. La superficie total ha caído desde 1.779 ha en 1984 hasta 290 en 2000, lo que representa una

3 Información de <http://www.iberianature.com/material/glaciers.htm>

disminución del 85% de su superficie. El 52% de esta ha ocurrido en los últimos 20 años, y el 30% entre 1991 y 2001. Las tendencias actuales predicen que hacia el 2005 la superficie glaciar podría ser tan baja como de 65 hectáreas y solo 9 hacia el 2050, con el hielo sucumbiendo finalmente en algún momento entre 2050 y 2070.

Turquía mediterránea

Dos tercios de los glaciares a día de hoy en Turquía se concentran en el centro-este de los Montes Taurus. Los datos disponibles sobre los glaciares turcos indican que el retroceso glaciar más reciente empezó probablemente al comienzo del siglo XX, ganando velocidad desde los años treinta (Çiner, 2003).

□ Episodios climáticos extremos

Los episodios extremos son el auténtico reto del cambio climático, y probablemente son las causas más importantes del cambio del ecosistema. Más aún, los episodios climáticos extremos causan también anomalías en el flujo del carbono con aumentos significativos del CO₂ atmosférico. Globalmente, el año 2003 está asociado con uno de los flujos de carbono atmosférico mayores registrados desde 1980. Ese año, Europa experimentó un aumento del flujo de carbono de la tierra a la atmósfera, asociado con un verano excepcionalmente seco y caluroso en las regiones occidental y central (Jones & Cox, 2005).

Olas de calor

Los registros de temperatura confirman un aumento en la intensidad y frecuencia de las olas de calor estivales (periodos cortos con días muy calurosos, poca humedad del aire y frecuentemente con vientos fuertes) y una reducción en la frecuencia de periodos fríos (periodos cortos de días muy fríos) en las últimas tres décadas. Las olas de calor son un episodio subregional, que no ocurre al mismo tiempo, o incluso en el mismo año, en las diferentes partes del Mediterráneo⁴.

Sequía

La sequía es un fenómeno natural en la región mediterránea, debido principalmente a su clima irregular con la extensión periódica de la típica baja precipitación estival a periodos más largos. En el Mediterráneo

4 La Cuarta Comunicación Nacional Portuguesa a la UNFCCC (2006) informa que las olas de calor son ahora más comunes en el Portugal continental, donde la frecuencia más alta de olas de calor se registró en los noventa. Hubo episodios particularmente largos y extendidos en 1981, 1991 and 2003, y tuvieron lugar dos olas de calor en rápida sucesión entre finales de mayo y junio de 2005.

occidental, los periodos de sequía están asociados al efecto de bloqueo de los frentes de alta presión subtropicales, que impiden a los frentes polares alcanzar la Península Ibérica.

Sin embargo, la frecuencia y la intensidad de las sequías han aumentado en décadas recientes y se proyecta que, a la luz del cambio climático, el aumento de temperaturas y el descenso de precipitación, llegarán a ser incluso peores. La sequía de 2005 fue grave en varias zonas del noroeste de Europa (ej. gran parte de Gran Bretaña y Francia), pero fue peor en la región mediterránea, afectando a casi todo Portugal, Siria, Egipto y Libia, además de a grandes áreas del sur y el este de España, norte de Italia, Anatolia central, y el este de Marruecos (Isendahl & Schmidt, 2006).

Según la Cuarta Comunicación Nacional Portuguesa a la UNFCCC, la sequía fue más grave en 91/92, 92/93, 94/95, 98/99, 99/00 y 04/05. Los valores de precipitación en enero de 2005 en las regiones central y meridional fueron más bajos que los valores mínimos observados a lo largo de 100 años.

Los ecosistemas terrestres parecen responder a las sequías con un aumento del flujo de carbono a la atmósfera causado por una caída en la producción primaria bruta (sumidero de carbono) en comparación a la respiración del ecosistema (fuente de carbono). Un estudio comparado multimodelo sugiere que los ecosistemas terrestres en Europa occidental liberaron carbono adicional en la atmósfera en respuesta a la sequía de 2003, tomando como base (1998-2002) (Vetter et al., 2007). Además, un número de estudios sugieren que los efectos de una sequía de larga escala se podrían detectar en los flujos de carbono por lo menos 3-5 años después de tener lugar. Por ello, comprender la respuesta de los ecosistemas a una sequía a gran escala es una cuestión importante, particularmente dado que es esperable que tales sucesos ocurran de manera más frecuente y con más intensidad en el futuro, y que la periodicidad de sequías de gran escala puede hacerse mucho menor (ej. los ecosistemas europeos experimentaron de nuevo la sequía en 2005), limitando la recuperación de los ecosistemas que, probablemente, llevará más tiempo, e incrementando las emisiones de carbono durante periodos más largos.

Tormentas fuertes

Un nuevo tipo de tormenta hizo su primera aparición en la Península Ibérica en 2005. El primer huracán de Europa –el huracán Vince – golpeó la costa suroeste de España en octubre. Fue la tormenta tropical en el Atlántico que ha llegado más lejos en el extremo nordeste de este océano, y se gestó sobre agua que se pensaba que era demasiado fría para dar soporte

a una tormenta tropical. Siguiendo al huracán Vince, la tormenta tropical Delta golpeó las Canarias y Madeira en noviembre de 2005, dejando atrás graves daños, cortes de electricidad y víctimas mortales. Sin embargo, los científicos no pueden todavía afirmar si hay una relación entre tales tormentas esporádicas y el cambio climático (WWF, 2006).

Tendencias previstas de cambio climático en la región mediterránea

A pesar de la incertidumbre sobre los cambios climáticos proyectados, existe un amplio consenso sobre un número de tendencias globales en Europa y la cuenca mediterránea como un todo, una región que se espera que sea afectada más fuertemente por el cambio climático en curso, que la mayoría de las otras regiones de la Tierra (McCarthy et al, 2001). De hecho, se espera que todas las regiones de clima mediterráneo experimenten aumentos significativos de temperatura y aridez en comparación con otras regiones (McCarthy et al., 2001).

□ Temperatura

El acuerdo entre los distintos modelos sobre las tendencias de cambio de temperatura es el mayor para las temperaturas invernales en la Europa meridional, si bien acerca de las temperaturas estivales las discrepancias son las mayores. No obstante, todos los modelos muestran una tendencia al calentamiento general en el conjunto de Europa, en todas las estaciones. Kettunen et al. (2007) resumen las proyecciones siguientes para Europa basadas en el informe IPCC 2001 y el informe *Impacts of Europe's changing climate* (EEA, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2004)⁵:

- La temperatura anual cambiará entre 0,1-0,4°C por decenio en Europa, con un calentamiento mayor en Europa meridional.
- El patrón de calentamiento en verano muestra un fuerte gradiente sur-norte, con la Europa del Sur calentándose a una tasa de 0,2-0,6°C por decenio mientras que la tasa de la Europa del norte será considerablemente más baja, de 0,08-0,3°C.
- Los inviernos catalogados como fríos se volverán mucho más escasos hacia 2020 y desaparecerán casi enteramente hacia 2080, mientras que los veranos calurosos se harán mucho más frecuentes.

Giannakopoulos (2006) resume las proyecciones siguientes basadas en dos escenarios de cambio climático para la región mediterránea:

5 http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en

- En ambos escenarios, habrá un aumento promedio en la temperatura media diurna de 1-2°C a lo largo de la costa de Francia (inercia térmica del mar), y 2-3°C en el interior. El aumento promedio es mayor para las temperaturas máximas que para las mínimas, un hecho que parece particularmente evidente en la Península Ibérica.
- Las temperaturas medias y máximas sufrirán un aumento notablemente mayor en verano y en el interior (hasta 4°C) y un aumento ligeramente mayor en otoño (2-3°C), con un aumento de menos de 2°C en invierno y primavera.
- El número de días calurosos ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) y veraniegos ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) aumentará de forma diferente según las subregiones también: el aumento más alto será en el interior, donde habrá un mes más de días calurosos y un mes más de días veraniegos; Oriente Medio y las áreas costeras ibéricas verán un incremento ligeramente más alto, con 1-3 semanas adicionales de días calurosos y 2-3 semanas adicionales de días veraniegos; las áreas costeras centrales solo tendrán un mes adicional de días veraniegos; y las islas de Chipre, Córcega y Cerdeña alrededor de dos semanas adicionales de días veraniegos.
- El número de noches heladas ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) caerá 1-2 semanas a lo largo de la costa y hasta un mes en el interior, mientras que el número de noches muy frías ($T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$) verá una ligera tendencia decreciente. Se estima que habrá una disminución del 50% en el número de días más fríos, principalmente en la parte sudeste de la región.
- En términos de temperatura, las regiones más calurosas serán Turquía, los Balcanes, la Península Ibérica, el Norte de Italia, y el Magreb, mientras que las regiones más frescas serán Chipre, Sicilia y Cerdeña.

□ Precipitaciones

A pesar de las considerables diferencias entre las proyecciones de los distintos modelos con respecto a los cambios en las precipitaciones, el informe *Impacts of Europe's Changing Climate* (EEA, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2004)⁶ predice una disminución de la precipitación anual de hasta el 1% y una disminución de las lluvias estivales de hasta 5% por decenio en el sur de Europa. La estación invernal se volverá más húmeda en Europa, con la excepción de los Balcanes y Turquía, donde los inviernos se harán más secos (Kettunen et al., 2007).

6 http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en

La precipitación es también el parámetro que muestra las mayores diferencias entre los dos escenarios considerados por Giannakopoulos (2006):

- La lluvia anual, en la parte norte de la región, parece incrementarse ligeramente en un escenario, mientras el otro predice una caída de 0-10%; en la parte sur de la región y en España se predice una caída del 0 al 20%, según los escenarios.
- La precipitación en verano disminuirá, salvo en la parte sudeste de la región (incluyendo el sur de Turquía) donde se espera un pequeño incremento.
- Una pequeña disminución o ningún cambio en la precipitación en forma de lluvia se prevé en las otras estaciones, excepto en la parte norte de la región, donde la precipitación invernal parece incrementarse, y en la parte suroriental, donde se espera una disminución más grande en invierno.
- Se espera un aumento del número de días secos ($PP < 0,5$ mm) en casi todas partes, variando desde un mes más de días secos en la Península Ibérica, hasta 3 semanas en el interior (sur de Francia, los Balcanes, Turquía e Italia), de 2 a 3 semanas en el Magreb (Marruecos, Argelia y Túnez), unas 2 semanas a lo largo de la costa, solo unos pocos días secos adicionales en Oriente Medio, Libia y Egipto, y un ligero descenso en Chipre.
- La intensidad de precipitación con días de fuertes lluvias se incrementará en la parte norte de la región (sur de Francia, Italia, oeste de Grecia y el norte de la Península Ibérica) mientras que en la parte meridional de la región, esta tendería a disminuir.

A pesar de las considerables incertidumbres sobre los cambios en las precipitaciones, se espera un incremento sustancial en el déficit de agua, provocado más por el aumento de las temperaturas que por la reducción de las lluvias (Ohlemüller et al., 2006).

□ Episodios climáticos extremos

Muchos expertos están de acuerdo en que los episodios climáticos extremos son probablemente las causas más importantes de cambio en los ecosistemas (Lindner, 2006). Kettunen et al. (2007) resumen las predicciones siguientes para Europa:

- Es muy probable que las frecuencias e intensidades de las olas de calor se incrementen a lo largo de Europa y de la región mediterránea en su conjunto (Kettunen et al., 2007).

- La frecuencia de episodios de precipitaciones intensas se incrementará, especialmente en invierno.
- El riesgo de sequía estival aumentará en el sur de Europa.

Giannakopoulos (2006) proyecta los siguientes cambios:

- 3-5 semanas adicionales de olas de calor en España, Oriente Medio, Turquía, los Balcanes, norte de África y norte de Italia, 4 semanas más en las islas del norte del mar Egeo, y una influencia moderada o ningún cambio significativo en el resto de las islas, sur de Italia y el Peloponeso.
- Intervalos secos más largos serán comunes con incremento de 2-4 semanas en el sur de Italia, la parte sur de la Península Ibérica, Marruecos y Libia, mientras que no se espera cambio alguno en la parte sudeste de la región y Argelia. Se espera una extensión de la estación seca hacia la primavera de unas 3 semanas en el sur de Francia y el centro de España, mientras que se espera un desplazamiento general hacia el otoño de 2 a 4 semanas en las partes central y oriental de la región, y ningún cambio en el sur de Italia y Sicilia. En los escenarios emergen patrones incongruentes para el sur de España, el Magreb y Grecia continental.

3 | ¿Qué podemos aprender de los cambios climáticos del pasado para afrontar los del futuro?

Los estudios de las consecuencias de los cambios climáticos del pasado en la biodiversidad representan una de las mejores fuentes de datos para validar las consecuencias, ecológicas y evolutivas de los cambios futuros previstos por los modelos (Petit et al., 2005). Las plantas están bien representadas en los restos paleontológicos y por tanto representan datos valiosos para el análisis del clima del pasado.

El clima ha cambiado a distintas escalas temporales a lo largo de la historia de la Tierra. Hay fuertes indicios de que un clima más cálido, con la cubierta de hielo global ampliamente reducida y un nivel del mar más alto, predominó hasta hace unos 3 millones de años (Solomon et al., 2007). Desde el comienzo del Cuaternario (hace 2 millones de años), tan solo unos pocos periodos parecen haber sido tan cálidos como el presente (y más cálidos probablemente, ej. el último periodo interglaciar de hace unos 125.000 años). Por lo tanto, el actual calentamiento antropogénico podría ser el mayor experimentado durante el Cuaternario. Además de esto, resaltamos los hechos siguientes que pueden influir de forma negativa en la respuesta de la vegetación al cambio climático:

- Las condiciones medioambientales han cambiado en gran medida debido a la alteración humana de los paisajes (fragmentación y degradación de los hábitats prístinos), con un incremento de las condiciones de xericidad, del medio y una reducción de la resiliencia del ecosistema (las condiciones microclimáticas minimizan el efecto del ambiente exterior), además de la creación de barreras para la dispersión. Estos hechos agravarán el efecto de calentamiento del cambio climático en la naturaleza.
- El grado actual de calentamiento muy rápido, sin parangón en el pasado, puede tener consecuencias en la capacidad de respuesta de las especies y los ecosistemas.

Migración de especies en respuesta a cambios climáticos en el pasado

Los datos polínicos muestran respuestas pronunciadas y rápidas (0–20 años) de la vegetación terrestre a los cambios climáticos pasados, con el colapso

repentino de un número de especies, acompañado de la rápida expansión de otras. En lo que se refiere a la capacidad de migración de las especies arbóreas, los registros de cambio climático en el pasado demuestran que los árboles fueron capaces de extenderse rápidamente después de la última Edad de Hielo, con tasas de migración verdaderamente notables (entre 150-500 m/año, y tasas excepcionales de 2.000 m/año se exponen en *Alnus* spp. (Huntley, 1991; Clark, 1998). Ohlemüller et al. (2006) predicen en sus escenarios de riesgo de cambio climático para 2100 en Europa que las especies arbóreas puede que necesiten emigrar de 1.400 m/año a 3.800 m/año en ciertas regiones, una tasa de migración que es mucho más alta que las definidas para la mayoría de las especies de árboles europeas en los tiempos postglaciares. Esto podría plantear un problema para la dispersión de las especies arbóreas, al menos para las especies que no toleran cambios de temperatura de más de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

No obstante, la velocidad de propagación puede haber sido sobreestimada por las interpretaciones tradicionales de los escasos registros de polen a partir de los cuales se han realizado las extrapolaciones para territorios extensos. Nuevas evidencias fósiles y de genética molecular muestran que las poblaciones glaciares de un gran número de especies estaban distribuidas de forma más abundante y amplia a diferentes latitudes (Figura 1), y por lo tanto, la distancia de migración podría haber sido mucho más corta de lo que se pensaba anteriormente (Clark et al., 2003; McLachlan et al., 2005). La alta heterogeneidad de los paisajes del Mediterráneo, donde, en un área muy pequeña, se pueden encontrar un rango variado de condiciones ambientales y un gran conjunto de especies arbóreas y hábitats con requisitos bioclimáticos óptimos diferentes, podrían ayudar a reducir los requisitos en cuanto a la distancia necesaria para una dispersión exitosa.

De hecho, gran parte de los territorios mediterráneos están formados por terrenos complejos y heterogéneos, donde podemos esperar una reorganización *in situ* de la mayoría de especies en el paisaje, donde las interacciones multi-especie y diferentes mecanismos de sucesión (facilitación, tolerancia e inhibición) darán lugar a cambios en el dominio/abundancia de las diferentes especies y comunidades arbóreas. En particular, las especies de árboles que viven a gran altitud (a saber, las especies arbóreas de coníferas oro-mediterráneas) podrían tener requisitos de dispersión a la larga que pudieran ser imposibles sin una asistencia humana. Sin embargo, la dispersión en altitud de las especies arbóreas oro-mediterráneas pueden verse favorecidas por el hecho de que el límite forestal actual aparece a altitudes más bajas (hasta los 300 m) que el límite potencial (hasta 300 m por debajo del mismo), debido a las prácticas históricas de pastoreo en tierras altas.



Figura 1: Refugios de los taxones de árboles templados en las penínsulas mediterráneas durante el último periodo Glaciar pleno (100.000-16.000 años) (de Willis & Niklas, 2004).

Aceptando la hipótesis de rápida dispersión de los árboles fósiles, la rápida dispersión espacial de especies ecológicamente similares en un territorio dado durante cambios paleoclimáticos ha sido interpretada como una paradoja por un cierto número de investigadores, especialmente en el caso de especies competidoras cercanas⁷ (Moorcroft et al., 2006). El progreso en los métodos y resultados paleobotánicos y genéticos representa un paso adelante muy importante para comprender las diferentes estrategias que las especies forestales han adoptado como respuestas de rápida dispersión a los cambios paleoclimáticos. Las siguientes teorías contribuyen a comprender cómo las especies arbóreas pueden ser capaces de migrar distancias largas en periodos de tiempo cortos:

□ **La teoría de la “superespecie”**

Estudios del noroeste de América sugieren que una rápida colonización puede tener lugar cuando un árbol colonizador escapa temporalmente de sus patógenos específicos comportándose como una “superespecie” que experimenta un periodo transitorio de ventaja competitiva sobre las especies residentes. Así explican los investigadores la rápida expansión del haya en el noroeste de América 3.000-2.500 años antes del presente (BP), en paralelo

7 La regla sería que la dispersión de especies colonizadoras en un paisaje donde esté presente una especie competidora debe, de forma notable, ser más lenta.

al declive de la *Tsuga* oriental (*Tsuga canadensis*) (especie competidora y residente en el área debido a una previa expansión en el Holoceno) durante el Holoceno medio y superior, vinculado a una súbita explosión de sus patógenos (varios autores en Moorcroft et al., 2006).

Una diferencia importante entre las condiciones de dispersión postglaciar de especies arbóreas y las necesidades de dispersión para los cambios climáticos futuros en los paisajes mediterráneos, altamente heterogéneos y ricos en especies y hábitats, radica en que las especies nativas mediterráneas no encontrarán áreas vacías que colonizar y las condiciones para que se conviertan en “*superespecies*” pueden no existir. Los cambios en las interacciones entre especies y en los mecanismos de sucesión ecológica actuarán en paralelo con los procesos dinámicos de las poblaciones patógenas, siendo estos últimos difíciles de predecir.

Una situación muy diferente será la de las especies de árboles alóctonas que pueden fácilmente convertirse en “*superespecies*”, como ya ha ocurrido con un considerable número de especies exóticas en todas las regiones biogeográficas mediterráneas (ej. el *Pinus pinaster*, una especie nativa de la cuenca mediterránea occidental, se ha convertido en una especie altamente invasora en la ecorregión del Cabo en Sudáfrica, donde fue introducida). Ello es debido a múltiples causas que son difíciles de comprender, incluyendo la ausencia de patógenos específicos de las especies invasoras en las zonas donde el hombre las ha introducido. Si el cambio climático ayudará o no a activar el carácter invasor de las especies exóticas presentes en la región, que hasta ahora no se han comportado como invasoras, es un tema crucial de conservación y una cuestión abierta para los investigadores.

□ La teoría de los “cambios bruscos”

En ciertos casos, los datos paleobotánicos de la región muestran un caso contrario a la teoría anterior, la expansión de ciertas especies en el sur de Europa se ha retrasado en comparación con la expansión más temprana de otras especies ecológicamente compatibles. Esto se ha explicado a menudo por factores como la distancia de los refugios y la velocidad de dispersión de las semillas, explicaciones que no eran consistentes con el comportamiento migratorio de las mismas especies en el norte de Europa. Análisis más precisos de cambios paleoclimáticos, han indicado finalmente que una desventaja competitiva previene la expansión de ciertas especies hasta que episodios de perturbación a gran escala, asociados tanto con el cambio climático como con el impacto humano, pueden activar su rápida expansión y provocar significativos cambios en sus límites de distribución. Este es el caso de la expansión tardía del avellano (*Corylus avellana*) durante el Holoceno en el sur de los Alpes (comparada con la expansión de especies de árboles

termófilas similares dos milenios más temprana), que tuvo lugar hacia 11.000-10.500 BP: cambios en la estacionalidad del clima con temperaturas más altas en verano y una sequía estacional más pronunciada, asociados a una actividad intensa de incendios forestales de origen antrópico, favorecieron la rapidísima dispersión del avellano en la vegetación abierta (Finsinger et al., 2006). Esta teoría se ha utilizado por diversos autores (ej. Carrión, 2003; Tinner et al., 2000 y 2005) para explicar por qué ocurrieron cambios bruscos de vegetación en periodos de tiempo muy cortos durante determinados cambios paleoclimáticos, con una rápida expansión de especies arbóreas xerófilas y reducciones significativas o extinciones de especies esciófilas (Figura 2).

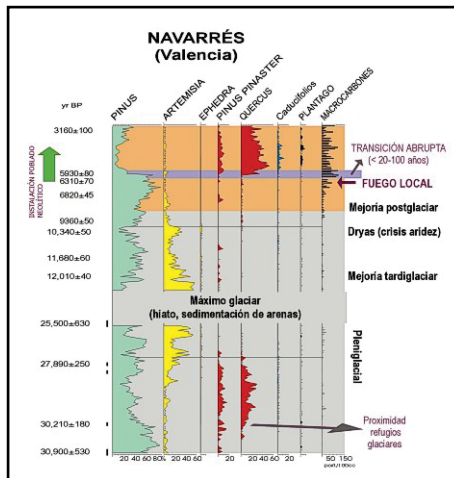


Figura 2: diagrama de polen mostrando la perturbación por incendios como originante de un cambio brusco de vegetación ~ 6.000 BP (Carrión, 2003).

Según los datos paleobotánicos, grandes territorios en la región mediterránea están hoy en día ocupados por más tipos de vegetación más xérica que los que estaban presentes antes de que se produjera una sucesión de cambios drásticos debidos a perturbaciones humanas del medio en la prehistoria, lo que causó una alteración rápida de los paisajes. Esto es especialmente significativo al considerar la actual tendencia al cambio climático, por dos razones opuestas:

- Por un lado, la incidencia en las últimas décadas de perturbaciones a gran escala más frecuentes e intensas (ej. incendios forestales incontrolados) puede causar cambios bruscos hacia tipos de vegetación más xérica con consecuencias ecológicas y socioeconómicas impredecibles.

- Por el otro, si se dan condiciones de gestión sostenible del medio, el carácter más xérico de la actual vegetación puede ayudarle a soportar un rango más amplio de cambios en el clima.

□ La teoría de la “episodios raros de dispersión a larga distancia.”

Los registros paleoambientales proporcionan muestras de episodios raros de dispersión a larga distancia de especies arbóreas en respuesta al calentamiento climático al final de la última glaciación. Los autores lo explican argumentando que, en paralelo con las tasas normales de dispersión de especies arbóreas, se producen episodios esporádicos de dispersión a larga distancia inusuales (ej. dispersión anemócora a larga distancia de semillas debida a excepcionales tormentas, huracanes, etc.; dispersión zoócora de semillas debido a desplazamientos excepcionales de gran amplitud de especies de mamíferos y/o aves), que conducen al establecimiento de poblaciones pequeñas y remotas, seguido de una fase inactiva de cambio con amplitud poco discernible, y una fase posterior activa de expansión explosiva (Overpeck et al., 2003).

Los investigadores deberían observar y registrar los episodios actuales de dispersión a larga distancia para adquirir una comprensión mejor y más global de los mecanismos de dispersión a larga distancia de las especies arbóreas del Mediterráneo. Además, los gestores podrían imitar este tipo de sistema de dispersión complementaria, estableciendo pequeñas poblaciones de especies y monitorizando su capacidad de expansión en áreas intermedias que conectan poblaciones remotas.

La escasa comprensión de los efectos futuros del cambio climático a escala regional y a escala de paisaje, y la complejidad de los mecanismos de causa-efecto y las interacciones entre cambios en el clima y respuestas de la vegetación hacen muy inciertas las predicciones futuras. Para cierto número de autores, el calentamiento global previsto puede disparar colapsos, expansiones e invasiones rápidas de especies arbóreas (Tinner & Lotter, 2001); sostienen que la migración de las especies puede que no sea lo bastante rápida para cubrir las necesidades de dispersión previstas de acuerdo con la velocidad estimada del calentamiento global, a pesar de los datos paleobotánicos, que apuntan a una rápida velocidad de migración (>100 m/año) para varios géneros de árboles. Por otra parte, otros autores resaltan el hecho de que las proyecciones de modificaciones del área de distribución y/o extinciones de especies a causa del cambio climático futuro provienen de modelos sobre-simplificados, y por lo tanto, deben ser interpretados con cuidado. Una evaluación muy detallada de la debilidad y los retos de los modelos matemáticos en la predicción de los impactos futuros del cambio climático en los ecosistemas ha sido asumida por Midgley et al. (2007). Es probable que las proyecciones inciertas de variaciones

en el clima a escalas regional y del paisaje, y la no incorporación de cuestiones críticas (heterogeneidad del paisaje, interacciones especies-humanos relaciones especie-clima, competición interespecífica, y los aspectos dinámicos de la migración) en los modelos de proyección generen errores significativos y una sobreestimación de las necesidades de migración de las especies a lo largo de los paisajes forestales y entre regiones.

Adaptación *in situ* de las especies a los cambios climáticos en el pasado

Los análisis de los cambios paleoclimáticos también proporcionan información valiosa sobre la capacidad demostrada por varias especies para persistir *in situ* bajo condiciones adversas e impredecibles. Este parece ser el caso de especies botánicas adaptadas a ambientes extremos, tales como el clima mediterráneo. Estudios de la región mediterránea muestran que la actual flora arbórea se compone de viejos taxones muy resilientes que ya han experimentado muchos cambios del clima bruscos e intensos en el pasado (Petit et al., 2005), siendo capaces de mantener poblaciones bastante estables en zonas donde han cambiado significativamente las condiciones climáticas. Más aún, las especies de árboles y matorrales templados con su límite de distribución meridional en la cuenca mediterránea tiene el grueso de su diversidad genética en sus poblaciones mediterráneas (el llamado “límite trasero” o *rear-edge*), a pesar de que estas representan una pequeña fracción de su área de distribución. Por tanto, bajo un escenario de cambio climático, la gran estabilidad y diversidad genética de numerosas poblaciones arbóreas relictas del “límite trasero” esparcidas a lo largo de las montañas mediterráneas y los de territorios altamente heterogéneos, serán elementos extremadamente importantes para el desarrollo de estrategias de conservación *in situ*. Estas poblaciones no deben ser infravaloradas haciendo prevalecer estrategias enfocadas a favorecer las necesidades de migración de las poblaciones del “límite superior” (en inglés: *leading-edge*) hacia el norte y hacia altitudes más elevadas.

Otro trabajo sobre migración y respuesta adaptativa a los cambios del Pleistoceno-Holoceno en plantas leñosas de la Gran Cuenca (*Great Basin*) (Nowak et al., 1994) demuestra la existencia de especies con altos niveles de variación genética que permiten su permanencia *in situ* durante periodos de cambio climático mediante la selección local de genotipos preadaptados (especies “ortoselectivas”). Aunque la versatilidad adaptativa de las especies es una cuestión compleja y específica de cada especie, está claro que este factor de permanencia de las especies merece más atención en el contexto de las estrategias de adaptación en la gestión y la conservación, pues las respuestas de adaptación *in situ* al calentamiento global parecen ser significativas en algunas especies.

□ **Respuestas de las especies al cambio del CO₂ atmosférico en el pasado**

Los análisis de cambios climáticos pasados también proporcionan datos muy valiosos en relación con los efectos de los cambios de concentración del CO₂ atmosférico sobre la vegetación. Algunos análisis en la región mediterránea proporcionan evidencias de adaptación de especies arbóreas a cambios de CO₂ paleoclimáticos, principalmente consistentes en una reducción del índice estomático (proporción de células estomáticas de la hoja en comparación con las células epidérmicas) y un aumento del tamaño de los poros estomáticos, parejos al aumento del CO₂ atmosférico (García-Amorena, 2007). Esto puede representar una oportunidad de adaptación para los bosques mediterráneos, mediante la reducción de la transpiración del árbol (menos estomas por superficie de hoja) mientras se mantiene la actividad fotosintética (tamaño grande de los poros) y la productividad. No obstante, esta es aún una cuestión muy debatible, especialmente si se considera que los cambios estomáticos cesan después de un cierto aumento del CO₂ atmosférico (García-Amorena, 2007).

□ **Observaciones finales útiles para la adaptación en la conservación del bosque y la gestión**

Las implicaciones en la gestión que emanan de las teorías contrapuestas acerca de los requisitos y mecanismos necesarios para responder a las necesidades de migración a larga distancia rápida de algunas especies, y a las oportunidades de permanencia *in situ* en zonas de refugio de numerosos territorios heterogéneos paisajes mediterráneos, pueden ser bastante diferentes. Van desde la posible necesidad de desplazar especies con escasas capacidades de dispersión, hasta la necesidad de identificar, restaurar y gestionar cuidadosamente las poblaciones aisladas y periféricas existentes fuera del área central de distribución de una especie (Pearson et al., 2005) y territorios muy heterogéneos con mayores posibilidades de reorganización *in situ* de un amplio número de especies.

A pesar de los cambios climáticos mucho más rápidos que se prevén en un futuro cercano, las estrategias y respuestas de las diferentes especies forestales durante los cambios climáticos pasados (en los que también tuvieron lugar periodos cortos de cambios bruscos en el clima y perturbaciones a gran escala) fortalecen nuestra comprensión de la dinámica de la vegetación forestal mediterránea y sugieren estrategias de adaptación contundentes (menos incertidumbres y riesgos) a la vista de las futuras condiciones climáticas.

4 Impactos actuales y previstos del cambio climático en los bosques mediterráneos

Es probable que el cambio climático acompañado por procesos y usos “mal-adaptados” de la tierra (ej. cambios rápidos e insostenibles en el uso del territorio y sobreexplotación de los recursos terrestres) aumenten la frecuencia e intensidad de plagas de agentes patógenos, incendios incontrolados y otras perturbaciones a gran escala. Todo esto puede contribuir a:

- Disminución de áreas forestadas de la cuenca mediterránea, que serán reemplazadas por comunidades de matorrales propensas a los incendios.
- Una fragmentación creciente de los paisajes forestales, que por consiguiente, obstaculizará las oportunidades de migración/dispersión para un número de especies en peligro de extinción.
- El descenso del crecimiento anual de los árboles y de las consiguientes rentas de los bosques.

Cambios ecológicos

Están teniendo lugar cambios ecológicos en los límites de distribución de especies, la fenología y las interacciones entre especies en todos los grupos marinos, de agua dulce y terrestres, muy escorados en el sentido predicho por el calentamiento global que se han vinculado al cambio climático local o regional (Parmesan, 2006).

Para ciertas especies y regiones de Europa, es probable que la pérdida de áreas climáticamente apropiadas predichas por los escenarios de cambio climático futuro conduzca a la desaparición de hábitats y ecosistemas (Saxon et al., 2005), y a la extinción de especies de flora y fauna (Bakkenes et al., 2002; Thomas et al., 2004; Thuiller et al., 2005)⁸. El riesgo de pérdida de biodiversidad puede incrementarse si las áreas futuras remanentes con climas apropiados para un número de especies están muy alejadas de sus áreas de distribución actuales,

8 Referencias de Ohlemüller et al., 2006.

planteando un problema adicional a las especies menos móviles (Ohlemüller et al., 2006). Como se mencionó previamente, se debe tener cuidado al interpretar estas predicciones, dadas las incertidumbres de los modelos supersimplificados basados en las especies en los que se basan, y dada la alta heterogeneidad de los paisajes mediterráneos donde las especies arbóreas pueden encontrar condiciones climáticas apropiadas a cortas distancias.

□ Cambios en las áreas de distribución de las especies y las fronteras de los ecosistemas

Se han descrito desplazamientos en la distribución de las especies vegetales y de los biomas en respuesta al calentamiento en los cambios paleoclimáticos. Observaciones de desplazamiento de los límites de distribución en paralelo con el cambio climático en curso son particularmente abundantes en el norte de Europa, donde existen registros de observación de muchas aves, mariposas y plantas que se remontan a mediados del siglo XVIII (Parmesan, 2006). También se han observado pruebas de la influencia del cambio en el clima en las áreas de distribución de las especies y las fronteras de los ecosistemas en la vegetación mediterránea, aunque las pruebas registradas son aún escasas:

- Los pisos bioclimáticos altitudinales parecen haberse desplazado, de alguna manera, en altitud, y unas condiciones más secas y cálidas ahora caracterizan áreas que solían estar marcadas por un clima más frío y húmedo:
 - a) La extensión hacia el norte y hacia alturas más elevadas de especies saharianas como las *Fredolia aretioides* y *Zilla macroptera* en las zonas bajas de montaña del Gran Atlas y del este del Atlas Medio (Medail & Quezel, 2003).
 - b) El desplazamiento del pino carrasco 200 m ladera arriba en las montañas del sur de Francia (Ej. el macizo Sainte-Baume) ocupando el límite inferior altitudinal de los bosques de pino albar. En esta zona de transición, el pino albar tiene ahora un índice de crecimiento más bajo y sufrió un proceso de marchitamiento durante el periodo de sequía extrema del 2003 (Vennetier et al., 2005).
 - c) Desde 1945, se ha informado de la sustitución progresiva de ecosistemas fríos-templados por ecosistemas mediterráneos en el Macizo del Montseny (Cataluña, NE España). El bosque de haya (*Fagus sylvatica*) se ha desplazado hacia cotas superiores cerca de 70 m hacia altitudes más altas (1600–1700 m). Tanto los hayedos como los brezales (*Calluna vulgaris*) están siendo reemplazados por encinares (*Quercus ilex*) a

altitudes medias (800–1.400 m). La sustitución del bosque tiene lugar mediante el progresivo aislamiento y degradación de los rodales de hayas (en otras palabras, las hayas están un 30% más defoliadas y el reclutamiento es un 41% más bajo) rodeadas por encinares, donde el reclutamiento es tres veces más alto que en los rodales de hayas. Las causas aparentes son las condiciones progresivamente más cálidas, combinadas con cambios en el uso de la tierra (principalmente el cese de la gestión tradicional de la misma), lo que proporciona un ejemplo paradigmático de cambio global que afecta a las distribuciones de especies vegetales y biomas (Peñuelas & Boada, 2003).

- d) El límite superior arbóreo y el nivel al que las plantas alpinas se encuentran en Europa se está moviendo hacia altitudes más elevadas (Walther et al., 2002)⁹. No obstante, al menos en el caso de los árboles, los desplazamientos hacia cotas superiores deben ser cuidadosamente analizados, ya que pueden estar relacionados con los recientes cambios en el uso de la tierra, con el abandono de los pastos de alta montaña y su recolonización por vegetación forestal, restaurando lo que era el límite superior natural arbóreo antes de la intervención humana (hasta 300 m más alto que el actual nivel de la línea).
- e) Los límites geográficos de muchas especies se han desplazado hacia los polos y en altitud, como resultado del calentamiento del clima, conduciendo a un enriquecimiento de especies a latitudes altas y en las zonas de alta montaña. Sin embargo, pocos estudios han abordado las respuestas al cambio climático en el ámbito de las comunidades biológicas a lo largo del gradiente altitudinal de las cadenas montañosas, o, en latitudes cálidas más bajas donde se espera que la diversidad ecológica descienda. Se han observado cambios en cotas superiores en la riqueza y composición de las especies de mariposas en la Sierra de Guadarrama (España central) entre 1967–1973 y 2004–2005. Comunidades de mariposas con composiciones de especies comparables se desplazaron ladera arriba 293 m (\pm EE 26), lo que es consistente con un desplazamiento hacia arriba de aproximadamente 225 m en las isothermas medias anuales. Los cambios en la riqueza y composición de especies de mariposas reflejan primordialmente la pérdida en las altitudes más bajas de especies cuyas distribuciones regionales están restringidas a las montañas. Un descenso neto en la riqueza de especies de mariposas ha ocurrido en aproximadamente el 90% de

9 Referencia incluida en la bibliografía de H. Reid, 2006.

la región, con una predominancia creciente de especies de amplio rango de distribución en la comunidad. Los resultados sugieren que el calentamiento del clima, combinado con la pérdida de hábitat y otros originantes de cambio biológico, pueden conducir a pérdidas significativas en diversidad ecológica en las montañas y otras regiones donde las especies encuentran sus márgenes de rango latitudinal más bajos (Wilson et al., 2007).

Para comprender los efectos del desplazamiento en la distribución de especies y las respuestas de conservación se deben considerar cierto número de cuestiones:

- Los límites de las especies se expanden a menudo como resultado de un desplazamiento del límite superior de su área de distribución hacia cotas más altas o hacia latitudes superiores (mientras que el límite inferior permanece constante por lo general). Este es un hecho importante que requiere de un seguimiento adecuado, ya que puede representar un efecto positivo del cambio en el clima o solo un retraso en la respuesta de una especie cuando se retira de su límite inferior de distribución.
- La utilización del límite arbóreo superior como indicador de cambio en el clima debe abordarse con cuidado: aunque se considera que el límite arbóreo superior está controlado térmicamente factores históricos (ej. la conversión de bosques de alta montaña en pastizales) y bióticos (ej. un incremento en la actividad de los herbívoros debido a la eliminación de la mayoría de sus predadores naturales) que pueden falsear nuestras interpretaciones de efectos del cambio climático sobre el ascenso del límite forestal en altitud, aparentemente reforzando o minimizando los impactos esperados del cambio climático (Cairns & Moen, 2004).
- Los áreas actuales de la distribución de las especies podrían ser significativamente diferentes (menores) que las esperadas al considerar su envolvente climática potencial. Esto puede implicar que cierto número de especies podría tener áreas de distribución más amplias desde un punto de vista climático, y por lo tanto una considerable capacidad de adaptación *in situ* antes de alcanzar el umbral de migración.

□ Migración de especies

La capacidad de migración depende de la producción de semillas de cada especie y de sus estrategias de dispersión. Sin embargo, predecir la distancia a la que pueden viajar las semillas no es tan fácil, y depende de una gran variedad de procesos (Higgings et al., 2003).

El conocimiento incompleto del rango potencial de migración de las especies limita nuestra capacidad actual para predecir los impactos del cambio climático global en la distribución geográfica futura de las especies, el tamaño de sus áreas de distribución e incluso su vulnerabilidad potencial a la extinción (Midgley et al., 2007). La migración de las especies vegetales representa una incertidumbre importante en la predicción de la respuesta de la vegetación al cambio climático, debido a una serie de razones (Midgley et al., 2007):

- Los límites de la actual distribución geográfica de las especies pueden estar controlados por factores distintos al clima, tales como los regímenes de perturbaciones, ya sean perturbaciones humanas y/o fuertes interacciones entre especies.
- La dinámica de cambios en las áreas de distribución de las especies arbóreas del bosque apenas puede predecirse debido a los retrasos en la mortalidad adulta y en los mecanismos de autorregulación de las poblaciones forestales (esto es, condiciones microclimáticas dentro de los rodales de bosque maduro), creando resistencia a las contracciones de sus áreas de distribución.
- El papel dual de la influencia antrópica que puede, por un lado, introducir barreras y filtros a la dispersión impidiendo o retrasando las tasas de migración, y por el otro, acelerar las tasas de expansión mediante la introducción artificial de especies.

□ Cambios en la Fenología

Los cambios en la fenología pueden tener consecuencias graves para las especies forestales, especialmente cuando la aparición de polinizadores no se corresponde con la temporada de floración. Algunos efectos que ya se han observado son:

- La primavera se ha adelantado dos semanas en España y tiene 23 días más calurosos que hace 30 años (ej. El almendro solía florecer hacia finales de febrero/marzo pero ahora lo hace como muy tarde a finales de enero).
- Los cambios de precipitación y la disponibilidad hídrica constituyen un factor importante del cambio climático, que conduce a cambios fenológicos significativos en las especies arbustivas mediterráneas (ej. *Erica multiflora* y *Globularia alypum* en Cataluña) con los subsiguientes cambios en la estructura, composición y funcionamiento de sus comunidades (Peñuelas et al., 2003).

- Los cambios fenológicos relacionados con condiciones climáticas más cálidas pueden reducir la capacidad competitiva de las coníferas de montaña (Ej. Las diferentes subespecies mediterráneas de *Pinus nigra*), que están bien adaptadas a condiciones de clima extremo (Ej. heladas tardías y bajas temperaturas invernales), favoreciendo las especies frondosas (Ej. robles caducifolios), que pueden extender su periodo de crecimiento, que se limitaba previamente a los meses de verano con sequía estival debido a las heladas de la primavera y el otoño).

□ Tasas de extinción

El cambio climático no solo desplazará hacia cotas más altas los pisos de vegetación de montaña, sino que también afectará a la competición entre especies debido a las distintas capacidades y velocidades migratorias específicas de cada especie. Las especies vegetales pueden no ser capaces de migrar lo suficientemente rápido, y sus posibilidades de migración pueden estar limitadas por factores tales como el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y las barreras antrópicas a la migración (Beniston, 2003). Más aún, la reducción del espacio disponible para las especies en las áreas de montaña elevadas y la carencia de ciertos requisitos de hábitats pueden reducir también las oportunidades de migración de muchas especies. Este puede ser el caso para las numerosas especies vegetales endémicas del Mediterráneo con áreas

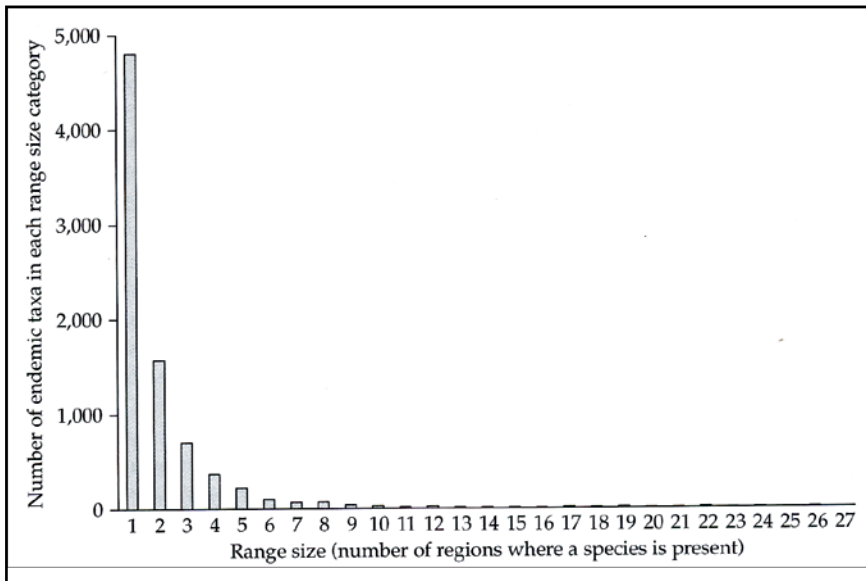


Figura 3. Predominio las áreas de distribución muy pequeñas de las especies vegetales endémicas en la región mediterránea. (Fuente: Thompson, 2005)

de distribución muy pequeñas, que constituyen el grupo endémico regional predominante y representan la piedra angular de la biodiversidad mediterránea, especialmente en las montañas e islas (Thompson, 2005).

El cuadro general de varios escenarios de cambio global (Thuiller et al., 2004) muestra que es posible en las montañas mediterráneas la extinción grave de especies/comunidades vegetales y la pérdida de biodiversidad, debido a problemas de migración y competición interespecies. Thuiller et al. (2004) predicen extinciones importantes en numerosas regiones de montaña en Europa, incluyendo áreas mediterráneas importantes (los Pirineos Centrales, el Sistema Central, Sistema Ibérico, Montes de Toledo y las Sierras Béticas Orientales en España, los Cevennes franceses, Córcega y los Alpes Marítimos, Los Apeninos Septentrionales y Centrales, norte de Cerdeña y las montañas sicilianas Etna/ Nebrodi en Italia, el Arco Dinárico en los Balcanes y la cordillera Pindos en Grecia). Esto afectará a numerosas especies endémicas de cada una de las principales cadenas de montañas del Mediterráneo. Ohlemüller et al. (2006) predicen que las áreas de montaña en la parte mediterránea de Europa son más proclives a pérdida de biodiversidad, haciendo especial referencia a la flora y fauna endémicas de las cordilleras ibéricas centrales y del norte de España que, se predice, no tendrán áreas climáticamente análogas en Europa en el futuro. Thuiller et al. (2004) predicen menos pérdida de especies en las áreas mediterráneas más meridionales de Europa, que se caracterizan por la presencia de especies que están bien adaptadas al calor y la sequía, lo que aparentemente les permitirá soportar las condiciones futuras. Conclusiones similares son aportadas por Ohlemüller et al. (2006) para territorios del sur y sudeste de Europa, los cuales, es posible que experimenten condiciones climáticas análogas a las actuales.

Se necesitan más estudios para determinar bajo que condiciones tuvo lugar la mayoría de las extinciones en el pasado (Petit et al., 2005). Los resultados de los diferentes análisis son de alguna manera equívocos con respecto a las reacciones de los taxones arbóreos al clima, especialmente en lo que se refiere a la precipitación. Cierta número de estudios paleobotánicos asocian cambios en la circulación atmosférica y en el régimen de precipitación con la desaparición o la reducción aguda de poblaciones de especies arbóreas (ej. en el pasado, la presencia y desaparición del *Pinus pinaster* a lo largo de la costa portuguesa, o *Abies alba* en los Alpes del sur). Desafortunadamente, las predicciones en los cambios de precipitación presentan grandes incertidumbres en los escenarios del del cambio climático. Una cuestión relacionada es cuánta inercia al cambio global existe en los ecosistemas mediterráneos (Petit et al., 2005): resultados en conflicto son aportados por los diferentes análisis.

□ Cambios metabólicos y fisiológicos

Los cambios fisiológicos que resultan de un clima cambiante están relacionados con procesos celulares, que controlan el uso e intercambio de materia y energía. Según estudios de laboratorio, los cambios en el régimen de lluvias, la temperatura y la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera pueden afectar a estos procesos significativamente. Aunque las respuestas dependen de las especies en estudio, en general, todas las especies vegetales experimentarán cambios metabólicos y fisiológicos como consecuencia del cambio climático. Estos cambios tendrán lugar tanto a corto (cambios en productividad y evapotranspiración) como a largo plazo (modificaciones de reserva de nutrientes y nuevas comunidades vegetales adaptadas a las nuevas condiciones) (Robledo & Forner, 2005).

□ Dinámica del carbono

La fotosíntesis y la respiración constituyen los flujos más grandes dentro y fuera de la biosfera (Molles, 1999). Los flujos de carbono terrestre suponen más de la mitad del carbono transferido entre la atmósfera y la superficie de la Tierra (aproximadamente 120 gigatoneladas/Año, Breathers et al., 2001).

Los depósitos de carbono del suelo juegan un papel significativo en el secuestro del carbono atmosférico, al mismo tiempo que mejoran la productividad del lugar (retención de agua y productividad del suelo). Aunque los depósitos de carbono del suelo se han reducido en gran medida debido al último siglo de sobreutilización y degradación de la tierra, las prácticas de gestión de la tierra adaptadas al cambio climático tienen que aumentar el depósito de carbono en el suelo, al mismo tiempo que mitigan el riesgo de pérdida de carbono del suelo causado por episodios extremos relacionados con el cambio climático (ej. erosión del suelo debida a lluvia torrencial, incendios forestales, y pérdida de la cubierta vegetal provocada por la sequía).

Incendios Forestales a Gran Escala

Los incendios forestales forman parte de las perturbaciones naturales que caracterizan los procesos dinámicos de la vegetación mediterránea. Sin embargo, milenios de transformación humana de la vegetación mediterránea han modificado la dinámica de los incendios forestales naturales, haciendo bastante difícil la comprensión y/o caracterización los regímenes de los incendios forestales naturales hoy en día. Además de esto, para muchas especies mediterráneas es difícil determinar si el fuego o cualquier otra perturbación natural o antropogénica actúa como la fuerza selectiva principal para su adaptación ambiental:

- En el caso de las especies de coníferas xerófitas, como el pino de Alepo (*Pinus halepensis*), se ha descrito¹⁰, una “estrategia vital doble”, principalmente en respuesta al fuego y a periodos de sequía intensa (Goubitz et al., 2004):
 - a) Un colonizador temprano con mucho éxito, después de los incendios naturales y humanos.
 - b) Una especie pionera e invasora con alta regeneración en áreas no quemadas con periodos de sequía intensa y la baja fertilidad del suelo que, representan una importante limitación al crecimiento de los árboles.

Si bien las especies coníferas tienden a responder con mayor eficacia a la sequía (por calor) y por frío (heladas), agotan el agua del suelo con mayor rapidez que las frondosas.

- En el caso de las frondosas caducifolias, como el madroño (*Arbutus unedo*), se puede también describir una “estrategia vital doble”, principalmente en respuesta al fuego y al pastoreo intenso - una especie con mucho éxito que rebrota después de incendios naturales y causados por el hombre, y después de un pastoreo intensivo de los animales silvestres y domésticos.

Aunque las frondosas tienden a responder menos eficazmente que las coníferas a la sequía por calor y por frío (esto es debido a problemas en el sistema de conducción, muerte de las células y caída de las hojas), ayudan a preservar mejor el agua del suelo.

Los ecosistemas adaptados al fuego han desarrollado mecanismos de adaptación para soportar estas alteraciones o las nuevas condiciones ambientales a las que se ven sometidos durante y después de un incendio (Valdecantos, 2008). No obstante, cuando el periodo entre dos incendios consecutivos es demasiado corto para permitir la producción de semillas fértiles o la recuperación del banco de semillas del suelo de especies germinadoras obligadas (tales como: el *Pinus spp.*, *Ulex parviflorus*, *Cistus spp.*, *Rosmarinus*

10 Cierta número de rasgos reproductivos se describen como adaptación al fuego y la sequía, de los cuales la serotina debe ser resaltada. La serotina se describe como la retención de semillas maduras en bancos de semillas almacenadas en la copa con dispersión retrasada y sincronizada –apertura de las piñas y liberación de las semillas– en tiempo de óptimas condiciones: tiempo de incendio y sequía extrema (Enright et al., 1998). La serotina es común entre las especies de pinos y algunas angiospermas del hemisferio sur (esto es: Australia y Sudáfrica) que crecen en ecosistemas propensos a los incendios.

officinalis), es improbable que el ecosistema recupere el mismo estado previo a la perturbación y por tanto los procesos autosucesionales se ven alterados (Valdecantos, 2008).

Los cambios relacionados con el calentamiento global en los regímenes de incendio forestal (incendios a gran escala, periodicidad más alta con la repetición de incendios en la misma área en años consecutivos o después de pocos años; y cambios en la estacionalidad de los incendios forestales, con la posibilidad de que se den incendios fuera del periodo estival) no solo causan problemas ambientales (ej. pérdida de bosques y especies, erosión del suelo, inundaciones) y socioeconómicos dramáticos, sino también ocasionan cambios de ecosistema (ej. especies proclives al fuego como el pino carrasco pueden ser afectadas negativamente por incendios que tengan lugar durante la temporada de maduración de las piñas y por una frecuencia de incendios más alta, que dan lugar a una alta probabilidad de desaparición de especies dentro de un territorio).

Giannakopoulos (2006) proyectó los siguientes cambios en el riesgo de incendios del Mediterráneo basados en el Índice Meteorológico de Peligro de Incendio (FWI) canadiense:

- Se esperan de 2 a 6 semanas adicionales de riesgo de incendio en todas partes excepto Provenza, sur de Italia/Cerdeña, norte de Túnez y Libia, donde se prevé una semana más, y la costa de Egipto y Oriente Próximo donde no se prevé aumento. Un aumento mayor de hasta 6-7 semanas es previsible en el interior (centro oeste de la Península Ibérica, las montañas y mesetas del Atlas en el norte de África, grandes regiones de Serbia, Bosnia-Herzegovina y Montenegro en los Balcanes, y el noreste de Italia), donde una proporción significativa de este aumento estará de hecho asociada al riesgo extremo de incendio. Un aumento más pequeño se espera en las áreas costeras, casi sin cambio en el riesgo extremo de incendio, excepto en la Península Ibérica, Marruecos, norte de Italia y el este de la costa adriática.

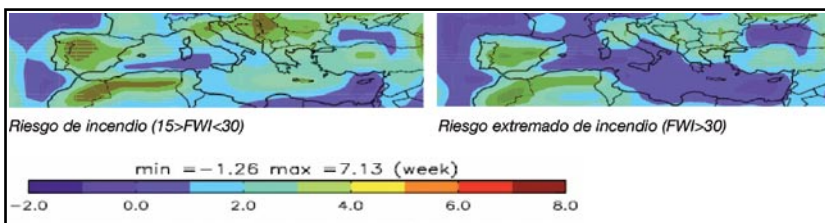


Figura 4. (Giannakopoulos et al., 2005): Aumento de días (semanas) con Riesgo de Incendio

- El aumento máximo del riesgo de incendio tendrá lugar en julio y agosto, especialmente en la parte central de la Península Ibérica, norte de Italia, los Balcanes y Anatolia central. Fuera de los meses estivales, se espera aumento de riesgo de incendio en mayo y octubre en la Península Ibérica, Marruecos y Argelia, y sólo en mayo en el sudeste de Turquía y Siria.

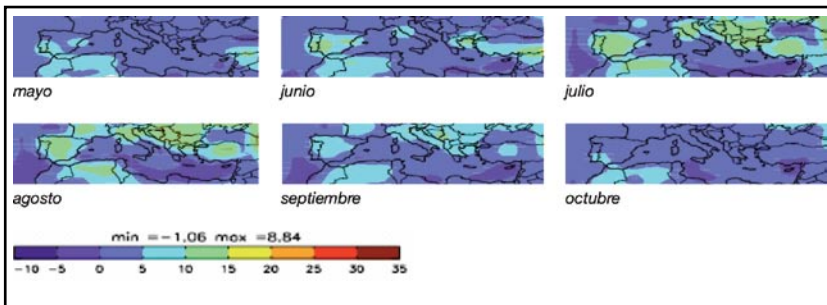


Figura 5. (Giannakopoulos et al., 2005): Cambios mensuales de FWI promedio de mayo a octubre entre los periodos de control (1961-90) y futuros (2030-60).

- Portugal: Los incendios forestales asociados con la ola de calor de 2003 produjeron un área quemada extremadamente grande (unas 450.000 ha), correspondiendo al 13% aproximadamente de la cubierta forestal total del país.
- Israel (Pe'er G. & U.N. Safriel, 2000): Las lluvias de invierno retrasadas aumentarán el riesgo de incendios forestales, ya que la mayoría de incendios tienen lugar en otoño durante los picos más altos de materia vegetal seca. La frecuencia, intensidad y extensión de los incendios aumentará debido a la menor humedad del suelo, mayor evaporación y mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor. El aumento de la frecuencia de incendios puede contrarrestar el alto potencial de muchas especies forestales de Israel a la resistencia al fuego y a la regeneración, y por esto los ecosistemas se pueden deteriorar de manera crítica.

Fenómeno de “la seca”

El aumento de la temperatura como consecuencia del cambio climático, está incrementando el coste respiratorio de los tejidos vivos. Además, la reducción de la precipitación puede limitar gravemente la producción primaria bruta de los bosques y, por consiguiente, los equilibrios de carbono de algunos bosques mediterráneos. Durante los periodos secos, con lluvias anuales extremadamente bajas, el coste respiratorio se compensa utilizando los carbohidratos móviles almacenados en las plantas. Una vez que este depósito ha sido agotado, se

hacen evidentes los síntomas de “la seca”, por lo que la monitorización de las cantidades de almidón en las plantas puede utilizarse como un indicador eficaz para prevenir la muerte súbita de los árboles. Reducir los costes respiratorios de los bosques es crucial para que sobrevivan a los periodos adversos. El descenso en la densidad de rebrote se ha comprobado experimentalmente como una técnica de gestión útil para superar algunos efectos adversos del cambio climático (Gracia, 2006).

Plagas forestales

Niveles crecientes de CO₂ en la atmósfera indican un aumento del equilibrio C/N de los tejidos vegetales, que a su vez dan como resultado una calidad más baja del alimento más baja para muchos insectos defoliantes. Algunos insectos responden aumentando el nivel de consumo de hojas y por consiguiente el daño al árbol, mientras otros muestran una mortalidad más alta y una eficacia más baja. El nivel de defensas químicas de la planta puede también verse afectado por un cambio en el CO₂. La temperatura afecta tanto a la supervivencia de insectos que son activos en los periodos fríos, tales como la procesionaria del pino, como al mecanismo de sincronización entre el huésped y los herbívoros, como es el caso de la polilla de las yemas del alerce. Un aumento de la temperatura puede alterar el mecanismo por el cual los insectos ajustan sus ciclos al clima local (diapausia), dando lugar a un desarrollo más rápido y una tasa de alimentación más alta –una técnica para superar algunas consecuencias adversas del cambio climático (Battisti, 2004).

Especies invasoras

El cambio climático ciertamente aumentará el carácter invasor de las especies alóctonas. Los resultados experimentales muestran que el alto nivel de CO₂ hace que las especies alóctonas hagan un uso más eficaz de los recursos de agua disponibles, volviéndose más productivas que las especies nativas. El aumento en la fertilización de N también favorece a las especies alóctonas sobre las nativas (Lloret et al., 2004).

El número de especies alóctonas en la región mediterránea ha crecido considerablemente durante las últimas décadas. Aunque las especies alóctonas aún tienen una presencia moderada en el medioambiente forestal mediterráneo (con la excepción de los ecosistemas de bosques de ribera) cierto número de árboles exóticos (ej. *Ailanthus altissima*, *Acacia* spp., *Robinia pseudoacacia*) ya se han vuelto agresivos en ciertas regiones, colonizando el margen forestal y los bosques abiertos. Los bosques de ribera mediterráneos son un ambiente muy sensible frente a las especies alóctonas, que a menudo colonizan grandes áreas con un fuerte potencial de crecimiento y un alto dinamismo (Lloret et al. 2004).

5 | Adaptación al cambio climático

Desde el principio de los años noventa la evaluación de los impactos del cambio climático y sus consecuencias para la gestión de los recursos naturales ha sido el eje de numerosos esfuerzos de investigación en todo el mundo. A pesar de este intenso esfuerzo científico, se ha hecho poco hasta ahora para planear y ejecutar medidas de adaptación para la gestión y conservación de los bosques, en gran parte debido a:

- Las numerosas incertidumbres que aún existen sobre las proyecciones de la variabilidad del clima en el futuro y las simulaciones de las respuestas.
- La falta de interacción y conexión anticipativa entre los gestores forestales que actúan sobre el terreno, y la investigación y los resultados científicos.
- Las condiciones todavía no favorables para conseguirlo (en cuanto a sensibilización, capacidad, política, incentivos, enfoques que incluyen esquemas de planificación e intervención, etc.), tanto a nivel nacional como regional.

¿Qué es la adaptación?

Según Spittlehouse & Stewart (2003), la adaptación al cambio climático hace referencia a los ajustes en los sistemas ecológicos, sociales, y económicos en respuesta a los efectos de los cambios en el clima. En lo que se refiere a ecosistemas vulnerables, la adaptación requiere prácticas de gestión flexibles para aumentar la adaptabilidad inherente de especies y hábitats y reducir las tendencias en las presiones humanas que incrementan la vulnerabilidad a la variabilidad el cambio del clima (Hulme, 2005). Esto implica a menudo acometer esfuerzos de restauración ecológica para restaurar condiciones ambientales resilientes para las poblaciones de especies, rodales y paisajes forestales que, en gran medida, han cambiado en el pasado debido al uso humano de la tierra.

La naturaleza en general, y los ecosistemas forestales en particular, se adaptarán autónomamente al cambio climático, como han venido haciendo durante milenios. Sin embargo, podemos querer influir en las barreras, dirección y ritmo de esta adaptación para mitigar los costes socioeconómicos y ambientales de los procesos de alteración agravados por el cambio climático, y mantener los

valores sociales de los actuales sistemas ecológicos y económicos (por ejemplo: conservación *in situ* de las especies y hábitats enumerados en los anexos de la Directiva del Hábitat; conservación y gestión sostenible de los alcornoques en el mediterráneo occidental para mantener las actividades económicas derivadas del corcho y los medios de subsistencia que dependen de ellas).

Considerando que las evidencias del cambio climático ya se han observado en décadas recientes, las acciones de adaptación no solo deben aplicarse en el futuro, sino que son necesarias ya de forma urgente.

Bosques y adaptación al cambio climático

Los bosques son ecosistemas muy dinámicos, que están en un proceso constante de cambio y reestructurándose en el espacio y en el tiempo, y a diferentes escalas. Esto se conoce como sucesión ecológica, un proceso que implica:

- Dinámica interna de las especies: los diferentes tipos de interacciones y capacidades de las especies para facilitar, inhibir o tolerar la presencia de otras especies, cuando compiten por recursos limitados (esto es, nutrientes, agua y espacio).
- Modificación del ambiente: formación de suelo, condiciones microclimáticas, etc.
- La incidencia de fuerzas externas o perturbaciones, incluyendo cambios del clima, que hacen los recursos disponibles de nuevo, que cambian el conjunto de especies de un lugar en el tiempo, y reconfiguran continuamente las comunidades forestales.

Por tanto, los bosques son influidos por las condiciones climáticas y los cambios impredecibles en el clima, y a su vez influyen en el clima:

- Las perturbaciones estocásticas, a menudo impulsadas por episodios climáticos extremos, activan respuestas adaptativas de las especies forestales, que están permanentemente adaptándose a un ambiente cambiante, respondiendo con retraso a las tendencias de cambio ambiental.
- La evolución en el tiempo, de las comunidades forestales ayuda a crear condiciones microclimáticas en el sotobosque, que permite la existencia de especies que no pueden resistir las condiciones climáticas externas. Gracias a esta característica, el mantenimiento y la restauración de las masas forestales maduras y envejecidas son extremadamente valiosas para crear resiliencia contra el cambio climático futuro.

Bajo un enfoque tan dinámico, la resiliencia forestal se aplica a las condiciones que permiten a un ecosistema forestal absorber cambios en el ambiente y con todo persistir (Holling, 1973). La adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático implicará comprender e influir en estas condiciones para aumentar su resiliencia.

Las opciones de adaptación del bosque al cambio climático dependerán del/ de los propósito(s) principal(es) establecido(s) en las políticas forestales (ej. productos madereros y no madereros; mantenimiento del monte alto para recreo y disfrute, mantenimiento de los recursos y la biodiversidad genéticos de los bosques nativos) cuando se evalúa la vulnerabilidad al cambio climático. No obstante, la sociedad demanda hoy sistemas forestales multifuncionales, no solo para proporcionar una cantidad suficiente de madera, de calidad, sino también por su amplio abanico de bienes y servicios, desde sumidero de carbono, conservación de la biodiversidad, suministro de agua suficiente y de calidad, hasta valores estéticos y emocionales. Las opciones de adaptación requerirán soluciones pactados para equilibrar todas las demandas.

Los cambios en el clima tienen lugar al mismo tiempo que los cambios en el uso de la tierra, la deposición de nitrógeno y la contaminación del aire conducirán a una situación donde las opciones de adaptación requerirán ajustes para aumentar la resiliencia del bosque frente a una combinación de cambios más compleja.

Los ciclos vitales de los bosques abarcan desde décadas (plantaciones de árboles de crecimiento rápido) a siglos (sistemas forestales naturales), y por ello los planes de gestión deben considerar las predicciones del cambio climático de cambios biológicos en el próximo siglo (Spittlehouse & Stewart, 2003). En términos generales, los cambios biológicos consistirán en:

- Tolerancia al cambio ambiental y permanencia *in situ* (dado que la plasticidad fenotípica, la supervivencia, el crecimiento y la reproducción son aún posibles localmente incluso si el medio ambiente está cambiando).

Y/o, en paralelo:

- Adaptación *in situ* de las especies con plasticidad fenotípica alta¹¹ (debido a una variación/diversidad genética heredable subyacente), que puede evolucionar y adaptarse genéticamente a condiciones nuevas.

11 La plasticidad fenotípica se aplica a la capacidad de un genotipo para presentar características morfológicas, de comportamiento y fisiológicas alternativas (un conjunto de fenotipos) en respuesta a la variación en las condiciones ambientales.

Y/o, en paralelo:

- Desplazamientos a mayor o menor escala de biomas, con el movimiento de los límites de distribución de las especies hacia el norte y hacia cotas más altas, siguiendo los cambios en el ambiente abiótico apropiado para ellas, y manteniendo su “envolvente climática”.

Y/o (ej. en el caso de la existencia de barreras), en paralelo:

- Tasa de crecimiento y éxito en la regeneración reducidos, que finalmente pueden conducir a:
- Extinción debida a carencia de capacidad para hacer frente a los cambios abióticos.

Todos estos cambios con toda probabilidad:

- Conducirán a que tengan lugar reagrupamientos de especies en el espacio y en el tiempo, que pueden ser influidos por cambios en la competitividad de las diferentes especies.
- Incrementarán la competencia de las especies invasoras.

Las respuestas no son todas mutuamente excluyentes pero pueden darse en concurrencia, y estarán mediatizadas por factores geográficos (ej. la existencia de barreras naturales o rutas migratorias), factores físicos (ej. la disponibilidad o carencia de nutrientes, profundidad del suelo, litología), factores antropogénicos (ej. la existencia de barreras que son el resultado la modificación del paisaje, la introducción o no de especies invasoras), y factores ecológicos (ej. cambios en la capacidad competitiva de las diferentes especies). El principal factor limitante en el contexto mediterráneo es el agua.

Dada la magnitud y el grado del cambio climático previsto, los árboles y bosques se verán afectados significativamente. La adaptación es por tanto una cuestión importante y debe abordarse a la más temprana ocasión. Este es el caso en particular debido al amplio periodo temporal asociado a cualesquiera decisiones de gestión que se toman en silvicultura. En contraste con otros sectores, cinco, veinte e incluso cincuenta años son horizontes de planificación a corto plazo para algunos elementos de gestión forestal. Hacia los 2080, un roble plantado ahora estará solo a medio camino en una rotación comercial, mientras que como un componente de un bosque seminatural, estaría aún en una etapa juvenil. La dificultad está en asegurar que decisiones tomadas ahora, en particular sobre la selección del material a plantar, son apropiadas tanto para el clima

actual como para el futuro. Las decisiones tampoco pueden restringirse a la elección del material y el paisaje a plantar: las decisiones en la planificación a escala de paisaje son igualmente relevantes, con áreas más grandes y menos fragmentadas de bosque que probablemente serían más sólidas frente a cualquier perturbación ambiental. Las redes de áreas forestales proporcionarán también la oportunidad para la fauna y la flora nativas de migrar conforme el cambio climático avanza¹².

Opciones de adaptación para los bosques mediterráneos

Los bosques mediterráneos se adaptarán de forma autónoma al cambio climático sin necesidad de intervención humana. Sin embargo:

- La sociedad es actualmente muy dependiente de los bienes y servicios ofrecidos por los ecosistemas forestales tal como son ahora.
- Los efectos del cambio climático se agravarán por los cambios no sostenibles en el uso de la tierra.

Esto implica la necesidad de planificar por adelantado estrategias y opciones de adaptación para impedir cambios importantes (ej. los procesos de extinción, las consecuencias de los episodios extremos) y facilitar la adaptación forestal *in situ* y la migración de las especies para cubrir las condiciones ambientales, sociales y económicas futuras deseadas.

Se requieren intervenciones de adaptación antes de que tengan lugar pérdidas irreversibles, o antes de que pueda lograrse la certeza completa sobre los daños provocados por el cambio climático en los ecosistemas forestales. No obstante, también se requiere un enfoque precavido para evitar consecuencias indeseadas, resultado de las opciones de adaptación planeadas con una incertidumbre alta y con una base científica débil. Debemos considerar que:

- En un clima cambiante se debe esperar lo inesperado (e impredecible) y mantener abiertas tantas opciones de respuesta como sea posible (Walker & Steffen, 1997).
- Las incertidumbres y limitaciones basadas en modelos en la predicción de las áreas de distribución de especies, en las oportunidades de conservación *in situ* y de migración, y en las tasas de extinción (Pearson et al., 2006).

12 <http://www.forestresearch.gov.uk/website/forestresearch.nsf/ByUnique/INFD-5ZYFEX>

- Una estrategia de adaptación clave a la luz de la incertidumbre es mantener los procesos y estructuras ecológicos a todos los niveles y reducir las presiones existentes sobre los ecosistemas naturales (Markham & Malcolm, 1996), incorporando la conservación de la biodiversidad en otros sectores de uso de la tierra, de tal manera que las respuestas sociales al cambio climático no pongan en peligro la biodiversidad.

Los bosques mediterráneos se caracterizan por una alta diversidad biológica. Las poblaciones mediterráneas de especies arbóreas que tienen una mayor expansión en Europa son genéticamente más diversas que las poblaciones que se sitúan en latitudes más septentrionales. Las poblaciones y las especies tienen a menudo una distribución irregular y están altamente diferenciadas. Al mismo tiempo, numerosas especies tienen una distribución amplia y extensiva sobre diferentes ecosistemas, los paisajes forestales mediterráneos son muy heterogéneos y albergan numerosos tipos de hábitat y especies. La mejor estrategia de adaptación deberá apoyar el aumento de la diversidad a todos los niveles (género, especies, comunidades y de paisaje).

□ Opciones de adaptación para la conservación de los recursos genéticos

Poblaciones arbóreas, que presenten originalmente altos niveles de diversidad genética, son susceptibles de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, si bien la severidad del cambio climático reducirá el tamaño de la población y su densidad, y por lo tanto, la diversidad genética puede verse reducida debido a episodios estocásticos, la propensión o la endogamia (Papageorgiou, 2008). Al mismo tiempo, las poblaciones de árboles necesitarán especializarse hasta tal punto a las nuevas condiciones, que puede descender la diversidad genética en su conjunto y la adaptabilidad a los cambios futuros.

La tarea central de la conservación de los recursos genéticos es, más allá de cualquier planteamiento económico, el mantenimiento del potencial evolutivo-adaptativo de las especies, las comunidades y los ecosistemas. Las estrategias para la conservación y la gestión adaptativas de los bosques mediterráneos pueden tener lugar *in situ* o *ex situ*.

Las estrategias *in situ* deben ayudar a mantener y fortalecer la función del sistema genético que asegura la transferencia de diversidad genética de una generación a otra y permite que tenga lugar la evolución (Papageorgiou, 2008). Se debe poner énfasis en lo siguiente:

- Debe evaluarse el potencial a largo plazo de supervivencia de las ‘reservas genéticas’. Las poblaciones marginales y disjuntas dentro de las áreas de distribución pueden desempeñar un papel importante en lo que a esto se

refiere. Las medidas de conservación de las 'reservas genéticas' requerirán medidas de conservación de los hábitats, y no solo para el genotipo o las especies raras (Fady, 2008).

- El mantenimiento de una alta diversidad genética ayudará a asegurar una mayor capacidad adaptativa forestal. Las especies y poblaciones forestales con una mayor plasticidad fenotípica y más alta diversidad genotípica pueden tolerar mejor los cambios ambientales.
- Hay que abordar la necesidad de fortalecer el flujo genético para la adaptación (hibridación) (Fady, 2008).
- Con vistas a asegurar el movimiento del pólen y de las semillas, se deben evitar medidas que perturben el sistema genético de las poblaciones forestales (ej., fragmentación de los bosques y baja densidad forestal) (Papageorgiu, 2008).
- Las actividades de restauración se deben centrar en la protección de la regeneración natural y, el material utilizado debe obtenerse de semillas locales donde tenga lugar o se estime necesaria la plantación. (Papageorgiu, 2008).
- Se puede considerar la reubicación (*translocation*) de material genético a climas más fríos y húmedos. Pueden también considerarse otras procedencias y genotipos más tolerantes a la sequía, aunque resulta difícil evaluar sus repuestas a un clima cambiante. La nueva legislación europea sobre Material Reproductivo Forestal (directiva MRF 1999/105) presenta el riesgo de aumentar los movimientos a larga distancia a través de Europa de MRF, basados en consideraciones de escaso rendimiento económico y no ecológicas, de esta manera promueve la utilización de material no adaptado (y no local) (Fady, 2008).

Cuando las especies o poblaciones no sean capaces de adaptarse y los esfuerzos de conservación *in situ* no puedan prevenir la pérdida de especies, se necesitan medidas *ex situ* para el mantenimiento de la diversidad genética:

- Debe considerarse prioritaria las recolecciones frecuentes y representativas de semillas para las especies arbóreas forestales principales y las más amenazadas. Estas pueden conservarse en los bancos de genes; las plantaciones pueden contribuir a aumentar la base genética de las poblaciones naturales mediante la creación de huertos de semillas que proporcionarán semillas varias para las actividades de restauración (Papageorgiu, 2008).

□ Opciones de adaptación de la gestión forestal

Varios trabajos de investigación¹³ han creado modelos para predecir los impactos del cambio climático en diferentes ecosistemas forestales, haciendo recomendaciones sobre posibles respuestas de gestión adaptativas para mitigar los impactos adversos del cambio climático, a su vez que enriquecen el almacenamiento de dióxido de carbono en los bosques.

Se proponen una serie de estrategias de gestión e intervenciones forestales adaptativas sobre la base de las simulaciones de los modelos, las observaciones de campo y la opinión de los expertos. Resaltamos las siguientes:

Cambios en la composición de las especies arbóreas

- Acelerar la migración mediante la plantación nuevas especies de árboles que estén mejor adaptadas a las condiciones del clima previstas, aunque esta opción puede tener altos riesgos debido a las incertidumbres del cambio climático.
- Aumentar las masas de bosque mixto y la diversidad de los árboles, especialmente en zonas ecotonales, combinando diferentes estrategias vitales (rebrote, árboles frutales, etc.) y especies tolerantes a la sequía. Las masas de bosque mixto están consideradas por los expertos como más “naturales” y resilientes a condiciones cambiantes del clima o a las posibles consecuencias del cambio climático (ej. plagas).

Conservación/restauración de los vectores bióticos de dispersión

Estos pueden tener un papel importante en la dispersión a larga distancia (ej. poblaciones de aves, especies migratorias).

Cambios en las prácticas silviculturales

- Es de esperar que los cambios en los intervalos de rotación y periodos de cosecha, esto es, periodos de rotación más largos, compensen la reducción en la tasa de crecimiento debida a las restricciones de agua y aumenten la cantidad de dióxido de carbono secuestrado en la biomasa arbórea, el suelo del bosque y la vegetación en su conjunto.
- Clareado: En el contexto de un inminente cambio climático, la cuestión de la influencia de la densidad se garantiza mediante la cuantificación. En este

13 Ejemplo: el proyecto Silivstrat financiando por la UE, que aborda las diferentes opciones de adaptación forestal en zonas piloto del norte, centro y sur de Europa; o el estudio EUFORGEN sobre cambio climático y diversidad genética forestal en Europa.

punto, el clareado sigue siendo el medio principal mediante el cual el gestor forestal puede evitar el estrés hídrico grave y las lentas tasas de crecimiento que se experimentarán con seguridad a causa de la creciente variabilidad del clima. Hasta cierto punto, también podemos utilizar el clareado para adelantar la edad de rotación de una masa forestal durante un tiempo de marcado cambio ambiental. Por consiguiente, esta técnica necesita ser objeto de más investigaciones, para adaptarla mejor a una gran variedad de especies, edades y densidades, y utilizarla más enérgicamente para aumentar la estabilidad ecológica de las masas actuales de edades diversas¹⁴.

- Prevenir el estancamiento del monte bajo/matorral y activar la producción de biomasa, con vistas a:
 - a) Lograr bosques maduros más diversos y mejor estructurados, que son más resilientes al cambio en el clima (condiciones microclimáticas).
 - b) Obtener un mayor valor del sumidero de carbono, almacenando cantidades de carbono más elevadas y mitigando los efectos del cambio climático.

Cambios en las prácticas de gestión del suelo

un factor muy importante radica en la adaptación a un estrés hídrico más grave causado por precipitaciones nada uniformes y un aumento de la evapotranspiración potencial por la subida de las temperaturas. Por tanto, un factor clave para muchas de las políticas que luchan por adaptar los bosques al cambio climático reside en las técnicas para promover una mayor eficacia en el almacenaje de agua en los suelos (Rego, 2008).

- El carbono del suelo contribuye no solo actúa como sumidero de carbono, sino que también mejora la productividad del sitio (retención del agua y disponibilidad de nutrientes).
- Las prácticas eficaces de gestión de la tierra ayudan a prevenir grandes reducciones en la cubierta del suelo (ej. pastoreo sostenible, extracción de madera con bajos niveles de perturbación) al mismo tiempo que reduce los grados de erosión del suelo.
- Las estrategias eficaces de gestión de incendios (ej. clareado y quema controlada) ayudan a prevenir la pérdida de carbono del suelo y la vegetación.

14 <http://www.eco-web.com/editorial/05934-03.html>

Cambios en las directrices forestales: promover una silvicultura cercana a la naturaleza

- Una mayor riqueza y diversidad estructural de las especies arbóreas produce masas forestales flexibles, y por tanto, más resilientes al cambio climático. Dado que la gestión multifuncional del bosque es el objetivo central de la mayoría de las políticas forestales hoy en día, y teniendo en cuenta que la producción de madera es a menudo un producto comercial marginal en los bosques mediterráneos, será mucho más fácil adoptar directrices para una silvicultura cercana a la naturaleza en esta región, que ayude a mantener una producción equilibrada de un amplio conjunto de productos del bosque, y asegure el suministro de importantes servicios ambientales (esto es, secuestro del carbono, conservación de la biodiversidad, etc.).

□ **Opciones de adaptación del paisaje**

Este es el nivel de adaptación fundamental para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad frente a los episodios climáticos extremos.

Se considerarán un número de acciones y consejos prioritarios:

- Evaluar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación de las extensiones forestales prioritarias (incluyendo sus aspectos ambientales, económicos y sociales).
- Planificar paisajes “inteligentes al fuego”. Se deberán considerar métodos más eficaces de afrontar unas condiciones cada vez más difíciles por la creciente intensidad y frecuencia de los incendios incontrolados a causa del cambio global.
- Fortalecer la capacidad de las especies para identificar envolventes en movimiento del clima a lo largo y ancho de los paisajes.
 - a) Asegurar un hábitat adecuado en los límites finales que se proyecten para las áreas de distribución de las especies.
 - b) Asegurar un hábitat adecuado en lo que tradicionalmente ha sido toda su área de distribución.
 - c) Imitar la dispersión a larga distancia mediante la restauración mediante el establecimiento de poblaciones pequeñas de diferentes especies arbóreas en paisajes fuertemente transformados.
- Diversificar los tipos de hábitat, los tipos de bosque y los usos de la tierra a escala de paisaje.

- Incrementar la diversidad genética, de especies y de paisajes, especialmente en zonas ecotonales
- Mantener/restaurar la conectividad en un paisaje variado, dinámico.
- Realizar la monitorización para determinar cuáles son los cambios y cuándo están ocurriendo.
- Proteger las áreas 'refugio' en paisajes heterogéneos que actuaron como zonas importantes para la conservación *in situ* de especies y hábitats relictos durante los cambios paleoclimáticos.
- Imitar los episodios de dispersión a larga distancia vinculados a fases explosivas de expansión¹⁵: emprender acciones de restauración del paisaje forestal mediante el establecimiento de pequeñas poblaciones de diferentes especies arbóreas en unidades del paisaje fuertemente transformadas en tierras homogéneas para la agricultura extensiva y en áreas del paisaje que puedan ser parte de las rutas migratorias.

El enfoque y las metodologías de la Restauración del Paisaje Forestal (RPF) proporcionan oportunidades de reunirse para identificar, negociar y llevar a cabo prácticas que restauren un equilibrio óptimo y de mutuo acuerdo sobre los beneficios ecológicos, sociales y económicos de los ecosistemas y paisajes forestales, dentro de un patrón más amplio de usos de la tierra (Saint-Laurent, 2008). La restauración y reforestación postincendio, usando el enfoque RPF para aumentar la resistencia y resiliencia en los paisajes, ayudan a dar respuesta a las necesidades de adaptación al jugar un papel de mitigación, ya que contribuyen a almacenar carbono. En 2003, se fundó una Sociedad Mundial para la Restauración del Paisaje Forestal, como una red de gobiernos, organizaciones, comunidades e individuos que reconocen la importancia de la restauración del paisaje forestal y desean formar parte de un esfuerzo global coordinado¹⁶.

15 Se han observado tasas rápidas de migración en algunos casos de episodios de cambio paleoclimático, las cuales se observan actualmente en el caso de las invasiones de especies alóctonas, ayudadas a menudo por las actividades humanas. Del mismo modo, fueron probablemente elementos importantes de las migraciones del Cuaternario, la propagación de malas hierbas, los episodios esporádicos de propagación a larga distancia que llevaron al establecimiento de pequeñas poblaciones remotas; a esto le siguió una fase inactiva de cambio de amplitud poco discernible y una fase de expansión explosiva (Pitelka y el Plant Migration Workshop Group 1997; Clark et al., 1998).

16 Para más información, visitar: <http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/globalpartnership>

Estrategias/intervenciones de restauración postincendio para aumentar la resiliencia frente los grandes incendios forestales agravados por el cambio climático: El caso de Valencia (España)

Alejandro Valdecantos

En ocasiones, la vegetación postincendio se caracteriza por densos matorrales con grandes cantidades de biomasa seca, y un grado más alto de homogeneización del paisaje, con independencia de la vegetación que existiese antes del incendio. Esto genera un continuo de combustible que conlleva un mayor riesgo de incendio, provocando a menudo un círculo vicioso de degradación por incendio. Por ello, la restauración postincendio debería reducir el riesgo de incendios y aumentar la resistencia y la resiliencia de los ecosistemas y el paisaje a los incendios forestales.

Las acciones de restauración necesitan romper el ciclo de degradación y promover nuevos modos de alcanzar el ecosistema deseado de una forma más rápida. En la región de Valencia actuamos en un matorral de *Ulex parviflorus* de 24 años mediante una combinación de clareado selectivo de especies germinadoras obligadas altamente inflamables (dejando en pie individuos de especies rebrotadoras, que se regeneran normalmente más rápido que las germinadoras y ofrecen mayor protección frente a la erosión y degradación del suelo). Tres años después del clareado, observamos un cambio significativo en la estructura de la vegetación y el modelo de combustible. El clareado selectivo convirtió un matorral altamente inflamable, denso y continuo con una gran cantidad de biomasa muerta, en un prado con escasos arbustos rebrotadores y una masa de combustible discontinua. La proporción de especies rebrotadoras comparada con las germinadoras aumentó enormemente tres años después del tratamiento de clareado. La cobertura del suelo con maleza redujo en gran medida las tasas de germinación de los germinadores obligados. Hubo diez veces más rebrotadores que germinadores en los lotes clareados comparados con los de control. Esto confirió al nuevo ecosistema una mayor capacidad de resistencia y resiliencia.

Para promover la supervivencia de los plantones se propugnan técnicas diseñadas para interrumpir la época seca y superar la escasez de agua. Nuestra experiencia en este campo en la región de Valencia incluye el uso de goteo y agua recogida de la niebla.

- El goteo producido ladera arriba es una práctica antigua eficaz en la región mediterránea, que puede jugar un papel importante en la restauración de

las áreas degradadas. Consiste en crear canales laterales (superficie colectora del agua) que conducen al hoyo donde se ha colocado el plantón (microrrecogida). La tasa de supervivencia de *Quercus ilex* plantado con esta técnica aumentó alrededor del 25% comparada con los hoyos de control. Se observó una relación positiva entre la superficie colectora del agua y la humedad en el hoyo de plantación durante el primer año crítico después de plantar.

- La niebla puede representar una importante fuente de agua para los ecosistemas. Cuando la niebla encuentra un obstáculo natural o artificial, el agua se condensa sobre la superficie del obstáculo. Puede almacenarse más tarde para ser utilizada en actividades de restauración durante los periodos de estrés hídrico. En la región de Valencia, Estrela et al. (2004) observaron que la cantidad de agua recogida de la niebla puede ser similar a la precipitación normal dependiendo de la exposición y localización de los colectores. La aplicación de 3-5 litros de agua recogida de niebla para los plantones de *Quercus ilex* una o dos veces durante el primer año después de plantar elevó las tasas de supervivencia a casi el 100%.

Extraído de un estudio de caso del taller de UICN-WWF "Adaptation to Climate Change in Mediterranean Forests Conservation and Management" (Atenas, 14-16 abril 2008)

En 2006 se desarrolló en Portugal un Plan Nacional para la Protección de los Bosques contra los Incendios Incontrolados, como respuesta a los incendios catastróficos de 2003, 2004 y 2005. El plan, muy consecuente con los principios de la RPF, tiene en cuenta los cambios climáticos predecibles y la naturaleza multifuncional de los sistemas forestales (esto es, las masas de alcornoque, pino piñonero, encina, fresal y algarrobo) con el fin de promover un uso más eficaz de la tierra y, al mismo tiempo un paisaje más resiliente (Rego, 2008). Las acciones clave que se han emprendido son las siguientes:

- Aplicación estratégica de reducción del combustible y tratamientos silviculturales, dentro de la ejecución de redes regionales de defensa forestal, que incluyen la creación de una red básica de cortafuegos y otras infraestructuras específicas, además de gestionar las interfaces bosque/agricultura y forestal/urbano.
- Es esencial la creación de zonas de intervención forestal (ZIF), gestionadas por los actores locales (asociaciones de propietarios forestales,

municipalidades, usuarios de la tierra) para superar los problemas relacionados con el régimen y la estructura de la propiedad forestal (propiedades muy pequeñas) y para aumentar la eficacia de las subvenciones nacionales y de la UE para la gestión y conservación de los bosques. Esta es la mejor manera de llevar a cabo la gestión forestal a escala de paisaje.

- La planificación integrada de restauración de las áreas forestales afectadas por incendios en 2003 y 2004 en el Algarve y el Bajo Alentejo, con la participación activa de organizaciones y agencias locales relacionadas con esos paisajes forestales, y la coordinación de los proyectos de restauración, en estrecha colaboración con las instituciones públicas y privadas con responsabilidades en asuntos forestales, en una zona de intervención de unas 240.000 hectáreas.
- La FAO continuará promoviendo el Código Voluntario de Gestión de Incendios como un instrumento importante para ayudar a desarrollar políticas y planes nacionales, si bien la gestión de incendios basada en la comunidad sigue siendo un elemento importante de los proyectos de gestión de incendios de la FAO en la región (Castaneda, 2008).

□ Estrategias de adaptación dentro de los planes globales, regionales y nacionales de conservación de la biodiversidad

Revisión de las áreas protegidas:

- Conservación del equilibrio entre el número de especies y la complejidad ecológica y la conservación de la diversidad paisajística (ej. el límite altitudinal dentro de las reservas es importante que permita la migración hacia cotas más altas; la heterogeneidad de la topografía, el hábitat y el microclima en las reservas permiten mayor flexibilidad en las respuestas de los organismos al cambio climático).
- La zonificación flexible de las fronteras de las reservas, el desarrollo de una gestión más eficaz de la zona tampón, y la gestión *inter situ* (gestión activa de la vida silvestre fuera de las áreas protegidas) desempeñarán un papel creciente en la distribución de las especies y en las pautas de migración en condiciones de cambio climático.
- La fragmentación (causada por los actuales patrones de uso de la tierra antrópicos y las barreras inducidas) puede ser el mayor obstáculo individual para la adaptación del ecosistema en un clima cambiante. Los efectos de borde que acompañan a la fragmentación exponen los hábitats complejos a los extremos del clima.

Evaluación de la vulnerabilidad de las áreas protegidas:

- Uno de los fines de la adaptación es asegurar que la actual red de áreas protegidas tendrá éxito en conservar la biodiversidad en el futuro mediante la identificación y la corrección de las debilidades actuales.

La planificación de la conservación se ha centrado tradicionalmente en las pautas de preservación y ha actuado reactivamente, un enfoque que ya no es apropiado en un mundo en cambio (Pressey et al., 2007). Es necesario un cambio de paradigma que se centre más en los procesos que en las pautas y que de prioridad a la planificación preventiva. Esto requiere el desarrollo de herramientas de predicción por los científicos, que ayuden a los actores en el desarrollo de herramientas de decisión basadas en las predicciones de la respuesta de la biodiversidad tanto al uso de la tierra y como al cambio climático actuales. Por ejemplo, las medidas de protección dirigidas a impulsar la regeneración y/o la reconstrucción de los patrones espaciales de bosques de montaña de pinsapo (*Abies pinsapo*), conllevaron opciones de poca o ninguna gestión. Por

Algunas características de las Áreas Protegidas que las predisponen a la vulnerabilidad al cambio climático

- Presencia de tipos de ecosistema sensibles
- Presencia de especies/ecosistemas cerca de los bordes de sus áreas de distribución
- Presencia de especies/ecosistemas que tienen distribuciones geográficamente limitadas
- Uniformidad topográfica y geomorfológica
- Tamaño reducido y alta ratio perímetro/área
- Aislamiento de otros ejemplos de comunidades componentes
- Fragmentación de poblaciones y ecosistemas por la acción antrópica
- Presiones antropogénicas actuales dentro y cerca de los bordes
- Presencia de comunidades naturales que dependen de uno o varios procesos o especies clave

consiguiente, en los últimos decenios ha tenido lugar una densificación de estos bosques en ausencia de un régimen natural de escasa perturbación, lo que ha hecho disminuir la capacidad de los árboles para hacer frente al estrés climático, sobre todo en épocas de sequía. Así, paradójicamente, la consecuencia de tomar medidas de protección estrictas puede ser un aumento de la vulnerabilidad al cambio climático de los bosques de montaña de coníferas endémicos. En estos casos, la adaptación al cambio climático requiere un cambio hacia una gestión proactiva, con vistas a fortalecer la diversidad estructural del dosel arbóreo, tanto a lo que se refiere a la masa arbórea como al paisaje¹⁷.

Adaptación para aumentar la resiliencia social

La adaptación es una parte importante de la respuesta de la sociedad al cambio climático. La adaptación planificada y por anticipado tiene el potencial de reducir la vulnerabilidad y considerar oportunidades asociadas a los efectos y riesgos del cambio climático (Smit & Pilfsova, 2001). Se puede alcanzar una reducción substancial de los daños producidos por el cambio climático, sobre todo en las regiones más vulnerables como el Mediterráneo, mediante la oportuna implantación de medidas de adaptación.

En la actualidad, la sociedad depende en gran medida de los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas tal y como son ahora. El cambio climático se agravará por los cambios insostenibles en el uso de la tierra, y por tanto, las oportunidades para la adaptación social se reducirán. La mayoría de los habitantes de los bosques mediterráneos viven en áreas marginales, tales como las zonas áridas y las montañas, con recursos limitados, que además se reducirán de forma significativa por el cambio climático. Por lo tanto, los habitantes de los bosques tendrán que afrontar retos adicionales con opciones de adaptación limitadas para reducir los impactos, debido a su fuerte dependencia económica de los recursos naturales y de la agricultura regada por las lluvias. Los riesgos asociados al cambio climático tienen el potencial de debilitar el desarrollo sostenible y en consecuencia, es importante considerar manifiestamente los riesgos que vienen asociados con el cambio climático mediante el desarrollo de planes y políticas para fortalecer la resiliencia social (Apuuli et al, 2000).

La resiliencia social al cambio climático puede definirse como la capacidad de una comunidad de adaptarse a las presiones y alteraciones causadas por el cambio climático (Adger, 2000). El desarrollo de la resiliencia social implica necesidades de ajustes socioeconómicos y ecológicos muy parecidas a las que se requieren para fomentar estrategias de desarrollo sostenible. De hecho, podemos decir que el primer paso urgente para adaptarse es revertir

17 Este ejemplo ha sido tomado de Carreira et al. (2008)

“los procesos y prácticas de “mala adaptación” que contribuyen a la pérdida y degradación de los bosques.

El fortalecimiento de la capacidad adaptativa implica un número de requisitos, entre los cuales cabe destacar:

- La necesidad de mejorar los derechos y mecanismos de acceso a los recursos;
- La necesidad de apoyar la igualdad social, de género e intergeneracional en la distribución de los recursos y los beneficios;
- La necesidad de mejorar la educación y la información en lo que respecta al conocimiento, la cultura y las tradiciones locales;
- La necesidad de asegurar niveles de vida adecuados (infraestructuras, oportunidades laborales, acceso a las nuevas tecnologías, salud, educación, oportunidades de ocio);
- La necesidad de identificar y valorar los recursos forestales lo más rigurosamente posible y compensar las comunidades forestales como administradores, asegurando así el intercambio de recursos;
- La importancia de diversificar los ingresos de los agricultores y ganaderos de montaña en torno a diferentes productos (por ej. turismo rural) para proporcionar beneficios complementarios y oportunidades laborales durante todo el año, mientras se garantiza una recolección sostenible;
- La necesidad de fortalecer e innovar los sistemas agroforestales tradicionales y promover el papel multifuncional de los bosques mediterráneos, desarrollando y promoviendo nuevas oportunidades de mercado para productos y servicios forestales de alta calidad, y finalmente;
- La necesidad de mantener comunidades forestales viables y mejorar la competitividad de las áreas rurales.

Las opciones de adaptación para aumentar la resiliencia social en las zonas forestales requerirán de ciertos esfuerzos con vistas a compensar todas las demandas y sustituir las prácticas de “mala adaptación” por usos de la tierra resilientes. Las zonas forestales mediterráneas tienen poco valor económico para la exportación maderera, y un alto valor por la preservación *in situ* de un amplio abanico de bienes y servicios ambientales (Regato & Salman, 2008), un hecho que proporciona numerosas oportunidades para la adaptación al

cambio climático. Se requiere la participación activa de las partes implicadas, especialmente con vistas a asegurar que las acciones se corresponden con las necesidades y los recursos locales, si se quiere identificar y promover con eficacia usos resilientes al cambio climático, que deben conllevar la implicación de los actores locales y el fortalecimiento de las capacidades de adaptación locales. Esto solo se puede conseguir donde la adaptación se ve como un proceso que es en sí mismo adaptable y flexible para asumir las circunstancias locales específicas y cambiantes que constituyen la realidad de las vidas de los habitantes de tierras forestales (Burton et al., 2003)

Por ejemplo, en la región forestal de sur de Portugal, profundamente degradada por los incendios forestales a gran escala de 2003 y 2004, una evaluación participativa de los sucesos ocurridos y de los fallos indicó que una estrategia global y exhaustiva de adaptación requiere rediseñar los patrones del paisaje, con una redistribución y una restauración espaciales de los usos resilientes de la tierra que favorezcan las prácticas de gestión tradicionales al contrario que las plantaciones a gran escala de eucaliptos. La adaptación planificada puede contribuir a un desarrollo sostenible, si se compensa a los propietarios y los usuarios de los bosques con el reconocimiento del papel que desempeñan como gestores en los paisajes naturales/culturales con restricciones medioambientales. Las retribuciones por la mejora/mantenimiento de prácticas forestales adecuadas (ej. gestión mejorada de los alcornoques, producción de fresales (*Arbutus unedo*), gestión del pastoreo en áreas de riesgo de incendio) están destinadas a fortalecer el papel multifuncional de los bosques, promoviendo la restauración ecológica de terrenos marginales cultivados y la transformación de plantaciones de eucaliptos de baja productividad en áreas forestales con especies resilientes (ej. árboles y arbustos rebrotadores como las encinas, bosques de ribera, prados). Se hacen pagos a los propietarios, las asociaciones y las municipalidades para la reforestación, la promoción de nuevos mercados (es decir, para productos certificados), la prevención de riesgos físicos, y la restauración de las áreas dañadas.

Se requieren mecanismos de buena gobernanza para alcanzar un amplio consenso en la sociedad sobre lo que resulta de mayor interés para la comunidad en su conjunto y sobre cómo se puede conseguir. Del mismo modo, es imprescindible mantener una perspectiva de amplias miras y a largo plazo sobre los requisitos para un desarrollo humano sostenible y la forma de alcanzar los objetivos de dicho desarrollo¹⁸. Todo ello solo puede derivarse de una comprensión de los contextos históricos, culturales y sociales de una sociedad o una comunidad en cuestión.

18 <http://www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/Ongoing/gg/governance.asp>

Por otra parte, se deben aplicar de forma imparcial unos marcos legales equitativos, que proporcionen la plena protección de los derechos humanos, en particular de los grupos marginados, con un poder judicial independiente e imparcial. De esta forma, se garantizará que la corrupción se mantenga en unos niveles mínimos y que se consideren las opiniones de los diferentes grupos sociales, por lo que las voces de los más vulnerables de la sociedad serán escuchadas en la toma de decisiones¹⁹.

Las comunidades rurales en las áreas menos favorecidas (ej. las áreas mediterráneas de bosque de montaña) son las más gravemente afectadas y las menos capaces de afrontar los impactos del cambio climático. Reconociendo este hecho, el consejo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM, GEF por sus siglas en inglés) propuso que el 10% de los recursos bajo la Prioridad Estratégica sobre Adaptación necesitará canalizarse en actividades basadas en la comunidad a través de los mecanismos del Programa de Pequeñas Donaciones (PPD, SGP, por sus siglas en inglés) del FMAM (documento GEF/C.23/Inf.8/Rev.1, May 11, 2004).

El PNUD, en colaboración con el PPD del FMAM, ha diseñado el Proyecto de Adaptación Comunitaria (CBA, siglas en inglés) para lograr el objetivo de reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa a los efectos adversos del cambio climático en las áreas focales en las que trabaja el FMAM, desarrollando la resiliencia de las comunidades, los ecosistemas, y los modos de vida dependientes de los recursos frente al cambio climático²⁰. La Adaptación Comunitaria (CBA) utiliza un sistema innovador para monitorear y evaluar, denominado Evaluación de Reducción de Vulnerabilidad (VRA, siglas en inglés). La VRA utiliza un cuestionario para evaluar los cambios en la percepción a nivel comunitario de su propia capacidad de adaptarse al cambio climático, y elabora un índice. El PNUD está llevando a cabo un proyecto piloto en el marco de la CBA en Marruecos, enfocado en tres sectores focales y regiones, que incluye los recursos forestales en las montañas del Atlas Medio²¹.

Necesidades de adaptación para la creación de capacidades

El desarrollo de capacidades faculta al sistema social, especialmente a las instituciones, para crear los marcos adecuados desarrollar acciones dirigidas a la adaptación al cambio climático. El principal objetivo del desarrollo de capacidades es mejorar el marco institucional mediante acciones que se toman

19 <http://www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/Ongoing/gg/governance.asp>

20 <http://sdnhq.undp.org/gef-adaptation/projects>

21 <http://www.undp-adaptation.org/project/cba>

Medios de vida rurales y servicios ecosistémicos. La experiencia Plan Vivo

A. Morrison

Plan Vivo es un sistema para monitorear el cumplimiento de las reducciones voluntarias de emisiones (RVE) de proyectos de uso sostenible de la tierra en países en desarrollo. Se desarrolla y dirige por una empresa sin ánimo de lucro, BioClimate Research and Development (BR&D), que registra y revisa los proyectos y emite Certificados Plan Vivo, que representan cada uno una tonelada de CO₂ más los medios de vida y los beneficios del ecosistema adicionales.

Los mecanismos de mercado, tales como los pagos por servicios del ecosistema (PSE), ayudan a cubrir pérdidas a corto plazo sufridas por impulsar un uso de la tierra más sostenible, al mismo tiempo que crean importantes incentivos contra la pobreza rural. Sobre todo, se ha encontrado que los planes de ayuda son poco apropiados para crear cambios permanentes en el uso de la tierra, ya que fracasan en imponer condiciones o crear incentivos significativos. En vez de dar poder a las comunidades, a menudo perpetúan una cultura de dependencia de la ayuda.

¿Cómo se benefician las comunidades?

Muchos hogares rurales son extremadamente vulnerables a los cambios que puede traer el cambio climático, tales como el fracaso de la cosecha por la sequía o los daños por inundaciones o incendios. Los medios de vida son solo sostenibles cuando pueden hacer frente y recuperarse de tensiones y fallos. Plan Vivo proyecta ayudar a aumentar la resiliencia social creando capital de las siguientes formas:

1) Financiera

Las actividades forestales/agroforestales bien gestionadas tienen el potencial para hacer que las familias rurales pobres estén mejor capacitadas para hacer frente a los impactos del cambio climático, aumentando la variedad de alimentos, combustible y oportunidades de generar ingresos. Las fuentes diversificadas de ingresos de pagos del carbono y los productos de los árboles capacitan a los agricultores a invertir en sistemas sostenibles y económicamente viables que reducen la dependencia de la ayuda o el apoyo del gobierno.

2) Natural

Los árboles hacen el medioambiente físico más resiliente, mejorando el agua y conservación de la biodiversidad, protegiendo las cosechas, evitando la erosión del suelo y aumentando la productividad (con poco aporte de trabajo) mediante el reciclado de los nutrientes y la sombra.

Al introducir sistemas agroforestales, los agricultores se benefician de sistemas agrícolas más equilibrados y se hacen menos vulnerables.

3) Humana y social

Los agricultores se hacen más socialmente resilientes a través de las relaciones que cultivan durante la vigencia de un proyecto. Mediante asociaciones, y compartiendo técnicas y conocimiento, las comunidades pueden construir redes que reduzcan su vulnerabilidad. Mediante pagos a plazos durante un cierto número de años durante los cuales los agricultores reciben cualificación y apoyo continuados, llegan a ver valor en sus árboles, y las prácticas sostenibles se consolidan en el área. Las comunidades pueden también lograr un mejor acceso a la tierra a través de proyectos en los que los coordinadores pueden ayudar a los grupos a asegurar la tenencia legal de la tierra.

4) Física

Los agricultores pueden lograr mejor equipamiento, plantones y otros medios que aumentan su capacidad para gestionar sosteniblemente sus recursos.

Condiciones propicias

Capacidad de organización y disposición a nivel local a involucrarse, además de organizaciones fuertes de coordinación con una presencia de largo tiempo en el área que puedan crear estructuras de gobernanza eficaces.

- Seguridad de tenencia de la tierra.
- Objetivos de gestión definidos claramente sobre y por encima de los pagos por carbono.

Lecciones aprendidas

Empezar desde lo pequeño y aprender con la práctica, utilizar procesos sencillos (no con diseños rígidos) y desarrollar capacidad a través de la transferencia del conocimiento, habilidades y tecnología. Aumentar proporcionalmente desde los planes piloto más pequeños también fortalece la gestión de un riesgo elevado, incrementando las posibilidades de permanencia.

Se debe poner el énfasis en el diseño dirigido por la comunidad, la gestión del riesgo y la sostenibilidad a largo plazo.

Extraído de un estudio de caso del taller de UICN-WWF "Adaptation to Climate Change in Mediterranean Forests Conservation and Management" (Atenas, 14-16 abril 2008)

para aumentar el conocimiento, la capacitación y la motivación de los grupos significativos para monitorear y llevar a cabo medidas de adaptación al cambio climático (Figura 6) (Stein, 2008).

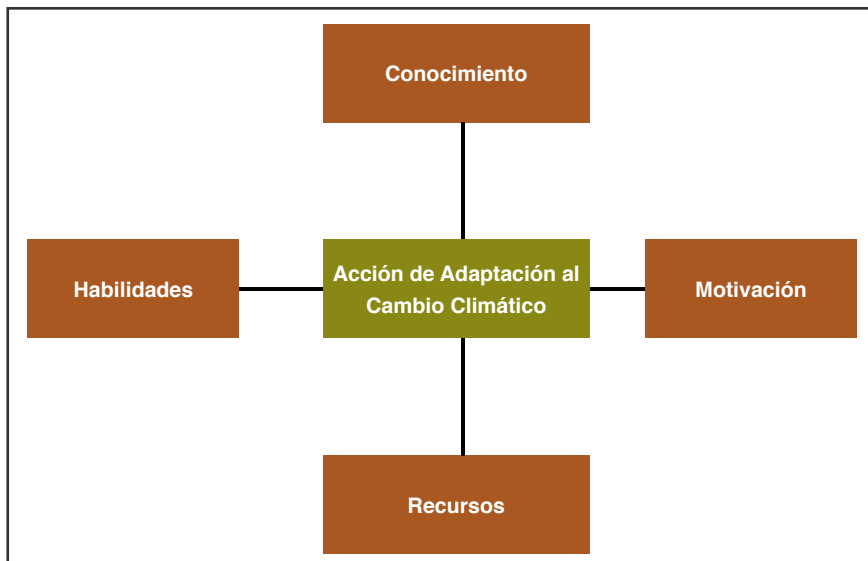


Figura 6. Componentes del desarrollo de capacidades en la adaptación al cambio climático (Fuente: C. Stein, 2008)

Se deberían considerar los siguientes elementos en el proceso de desarrollo de capacidades para fortalecer capacidad de adaptación de todos los actores relevantes en el sector forestal:

- Implicación de la sociedad:
 - a) Comprender la necesidad de impulsar medidas de adaptación.
 - b) Identificar y compartir las mejores prácticas del conocimiento tradicional sobre la adaptación a los cambios ambientales.
 - c) Educar, informar y fomentar el cambio de comportamiento.
- Investigación
 - a) Identificar, evaluar y mejorar medidas adecuadas de adaptación.
 - b) Llevarlas a cabo con éxito.

- c) Monitorización a todos los niveles.
- d) Se requiere mayor integración de las disciplinas (genética, ecológica, silvicultura, social, económica, etc.).

Los programas de desarrollo de capacidades deben organizarse siguiendo una serie de pasos (Stein, 2008):

- Paso 1: Elevar la conciencia sobre la necesidad de adaptación y comprender las percepciones locales sobre los cambios ambientales, los impactos y las vulnerabilidades.
- Paso 2: Definir medidas de adaptación (MA), implicando a todos los actores interesados y considerando tanto el conocimiento tradicional como las opciones innovadoras.
- Paso 3: Definir a los actores necesarios para promover y poner en marcha medidas de adaptación (Desarrollo de Capacidades de los Grupos Meta).
- Paso 4: Definir las capacitación prioritaria y el conocimiento necesario para que los grupos meta implementen con éxito las medidas de adaptación (el desarrollo de capacidades necesita evaluación)
- Paso 5: Definir un plan para el desarrollo de capacidades: métodos, contenidos y herramientas.
- Paso 6: Apoyo continuado mediante una implementación colaborativa.
- Paso 7: Monitorización/Evaluación

Los programas de desarrollo de capacidades deben tener lugar a nivel local, nacional y regional. Es importante para las partes interesadas y las agencias donantes reconocer tanto el papel que las instituciones de investigación pueden jugar actuando como centros de excelencia, como el valor que el conocimiento tradicional puede tener en el desarrollo de opciones de adaptación innovadora. Se necesita un apoyo reforzado para un plan de desarrollo de capacidades que implica un conjunto de opciones:

- Establecer y fortalecer centros de excelencia en los bosques mediterráneos y en la adaptación al cambio climático, en las partes norte, sur y este de la región.

- Construir redes regionales e intercambio de programas, vinculando los centros de excelencia y las áreas desfavorecidas.
- Investigación integrada avanzada (a la vez en biología y ciencias sociales) para entender y crear los modelos de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales y sus habitantes, y priorizar los esfuerzos de conservación y desarrollo rural.
- Construir iniciativas hermanadas entre áreas y regiones forestales transfronterizas que comparten valores ecológicos comunes (ej. iniciativas norte-sur, como la Reserva Transcontinental de la Biosfera entre Andalucía y el norte de Marruecos), ayudando a las partes interesadas a discutir problemas y oportunidades comunes, compartir las lecciones aprendidas y adaptar las soluciones que vayan bien con cada realidad socioeconómica.
- Realizar talleres, programas de formación prácticos, siguiendo el enfoque de “aprender con la práctica”, para los actores en todos los sectores para ayudar al desarrollo de herramientas especializadas para la planificación e implementación de las actividades de adaptación.
- Revisar los planes de estudio para introducir la teoría y práctica de adaptación al cambio climático en todos los estudios correspondientes.
- Hacer disponibles programas de liderazgo específicos, para fomentar el empoderamiento de los actores clave en los niveles local, nacional y regional. Los esfuerzos necesarios y duraderos requieren líderes fuertes dentro de los diferentes grupos de actores –especialmente a nivel de base (acción sobre el terreno).

Un buen fundamento de cooperación entre investigadores e instituciones lo constituyen los diferentes programas financiados por la UE sobre adaptación al cambio climático que llevan a cabo medidas sobre el bosque mediterráneo, como:

- El proyecto SilviStrat (Estrategias Silviculturales para el Cambio Climático en la Gestión de los Bosques Mediterráneos) que tiene los siguientes objetivos:
 - a) analizar los impactos directos e indirectos en los regímenes actuales de gestión forestal y las operaciones sobre la captura y almacenaje de carbono en los bosques europeos, y desarrollar una comprensión mejor de cómo se pueden mejorar los regímenes de gestión y las operaciones para mantener una producción forestal sostenible al mismo tiempo que se

- aumenta la capacidad de secuestro del carbono de los bosques europeos bajo las actuales y cambiantes condiciones climáticas;
- b) analizar las estrategias adaptativas de gestión forestal dirigidas a reducir los impactos de las sequías y otros efectos adversos del cambio climático;
 - c) evaluar cómo pueden afectar a los gastos e ingresos al nivel de la unidad de gestión, las estrategias de gestión forestal para un mayor secuestro del carbono en los principales tipos de bosque europeo;
 - d) evaluar como optimizar las operaciones de gestión en unidades de gestión forestal representativas de los principales tipos de bosque europeo con el fin de aumentar el secuestro del carbono y mantener una producción sostenible bajo condiciones climáticas cambiantes;
 - e) estimar el potencial de la gestión forestal a escala europea en el secuestro de carbono y mitigar los impactos provocados por el cambio climático (<http://www.efi.fi/projects/silvistrat>).
- El Proyecto Integrado ADAM (*ADaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy*), cuyos objetivos son:
 - a) desarrollar y evaluar un catálogo de opciones que se ocupen de las deficiencias de las políticas actuales de adaptación y mitigación;
 - b) evaluar si las políticas actuales de mitigación y adaptación pueden lograr una transición tolerable a un mundo con temperaturas 2 °C más elevadas que el de los niveles preindustriales; y
 - c) desarrollar un Marco de Evaluación de las Políticas que ayudará a desarrollar políticas climáticas mejores en el futuro. El proyecto está basado en cuatro campos:
 - 1) Escenarios que guíen los análisis de ADAM;
 - 2) Valoración de las Políticas para la evaluación analítica y deliberativa de las opciones políticas de cambio climático;
 - 3) Análisis de los impactos, vulnerabilidades y opciones de adaptación para el cambio lento de partida y los episodios extremos; y
 - 4) Análisis de las opciones políticas de mitigación – a nivel global y para la UE y sus estados miembro.

- El proyecto ENSEMBLES, cuyos objetivos son:
 - a) desarrollar un sistema de predicción conjunta basado en los principales modelos avanzados, de alta resolución, globales y regionales del Sistema Tierra, validados frente a los conjuntos de datos, en cuadrícula de alta resolución y con control de calidad, de Europa, para producir, por primera vez, un cálculo probabilístico objetivo de incertidumbre en el clima futuro a escalas temporales estacionales, de decenios y más extendidas;
 - b) cuantificar y reducir la incertidumbre en la representación de la retroalimentación física, química, biológica y humana en el Sistema Tierra;
 - c) maximizar la explotación de los resultados, vinculándolos a un conjunto de aplicaciones, que incluye agricultura, sanidad, seguridad de los alimentos, energía, recursos hídricos, seguridad y gestión de riesgos (<http://www.ensembles-eu.org>).

- El proyecto CIRCE, dirigido a desarrollar por primera vez una evaluación de los impactos del cambio climático en el área mediterránea. Los objetivos del proyecto son:
 - a) predecir y cuantificar los impactos físicos del cambio climático en el área mediterránea;
 - b) evaluar las consecuencias del cambio climático para la sociedad y la economía de las poblaciones localizadas en el área mediterránea;
 - c) desarrollar un enfoque integrado para comprender los efectos combinados del cambio climático;
 - d) identificar las estrategias de adaptación y mitigación en colaboración con los actores regionales (<http://circeproject.eu>).

- El proyecto DeSurvey, que está dirigido a desarrollar un prototipo de sistema de vigilancia, flexible y de bajo costo que permita:
 - a) comprender la desertificación de un modo dinámico y sistémico;
 - b) evaluar el estado de desertificación y degradación de la tierra, incluyendo un diagnóstico de las causas y la indentificación de zonas con alto grado de desertificación;
 - c) predecir la desertificación en escenarios climático y socioeconómicos seleccionados;

- d) monitorizar el estado de desertificación degradación de la tierra en áreas extensas utilizando métodos objetivos y reproducibles;
 - e) colmar la laguna existente entre el conocimiento generado por el proyecto sobre los procesos subyacentes a la desertificación y la práctica de formular una política para detectar, prevenir y dar solución a los riesgos de desertificación (<http://www.desurvey.net>).
- El proyecto GLOCHAMORE (Global Change in Mountain Regions), una iniciativa conjunta del Programa Hombre y Biosfera (MAB) de la UNESCO y la Iniciativa de Investigación de Montañas (MRI) financiada por la UE²², con el objetivo de detectar señales de cambio ambiental global en las Reservas de la Biosfera de montaña mediante una red de observación, tanto de sistemas naturales como socioeconómicos. Son parte de la red de investigación dos cadenas mediterráneas: la Reserva de la Biosfera del Oasis del Sur Marroquí (Marruecos) y la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada (España).
 - El proyecto EUROFIRELAB, con el objetivo principal de convertirse en una “red de excelencia” de la ciencia y tecnología de los incendios forestales, en el área euro-mediterránea. Además esta red de investigación:
 - a) desarrollará conceptos, enfoques y ‘lenguajes’ comunes, y
 - b) elaborará métodos y protocolos comunes para las actividades de investigación y desarrollo tecnológico; integrando las escalas espaciales específicas y los diferentes roles de las áreas naturales euro-mediterráneas (<http://www.eufirelab.org>).
 - El proyecto Fire Paradox, que promueve el uso inteligente del fuego, como modo de impedir los incendios incontrolados indeseados. La formación de profesionales sobre fuego preventivo constituyó un cambio importante en los dos últimos años con resultados muy alentadores (Rego, 2008).

Además de estos esfuerzos regionales, los países mediterráneos también están llevando a cabo acciones a nivel nacional, como por ejemplo la red española GlobiMed²³ que analiza los impactos de los periodos de sequía intensa y de larga duración en los episodios en los que se experimenta en fenómeno de “la seca” en los bosques de montaña dentro de la región biogeográfica mediterránea del país.

22 Sexto Programa Marco de la UE sobre “Cambio Global y Ecosistemas”.

23 <http://www.globimed.net>

Recientemente, las NU ha lanzado un programa conjunto (las organizaciones de la ONU participantes en el país son el PNUD, el PNUMA, la UNICEF, la FAO y la ONUDI) para fortalecer la capacidad de Turquía para adaptarse al cambio climático (Zaim, 2008). El objetivo fundamental del Programa Conjunto es desarrollar la capacidad gestionar los riesgos del cambio climático para el desarrollo de las zonas rurales y costeras de Turquía. Esto se conseguirá incorporando la adaptación al cambio climático al marco de desarrollo nacional, desarrollando las capacidades en las instituciones nacionales y regionales, con proyectos piloto comunitarios de adaptación en la Cuenca del río Seyhan, e integrando la adaptación al cambio climático en todas las agencias de la ONU en Turquía.

La UICN está desarrollando trabajos sobre desarrollo de capacidades para la adaptación a través del Instrumento Comunitario de Control de Riesgos-Adaptación y Modos de Vida (CRISTAL, *Community-based Risk Screening Tool-Adaptation and Livelihoods*) (Riche, 2008). Esta herramienta ha sido diseñada para ayudar a reducir los impactos del cambio climático sobre los medios de vida comunitarios. Se probó por primera vez en un proyecto de la UICN en Mali (Delta Interior del río Níger) y se generalizará después de otras evaluaciones.

Es necesario que aumente en las zonas forestales la conciencia pública sobre la realidad y los efectos del cambio climático. Se necesita que los estudios relacionados con el cambio climático se incluyan no solo dentro de las redes de conservación genética, de especies y de hábitats, sino también en la gestión y practica cotidianas de los bosques, en los niveles nacional e internacional (ej. para todo el Mediterráneo) (Fady, 2008). Según este autor, se necesita abordar algunas cuestiones urgentes, y sería deseable recordar a los legisladores y gestores que el Mediterráneo puede contener material genético que se puede utilizar en los bosques europeos bajo escenarios de cambio climático.

Marcos institucional y político para apoyar las opciones de adaptación

Entre los muchos retos que el cambio climático impone a la sociedad, quizá el más importante es enfocarlo integralmente, considerando los impactos en un amplio conjunto de sistemas y en los intereses y problemas de muchas de las partes implicadas. La necesidad de unificar esfuerzos surge de tres factores (Robledo & Forner, 2005):

- Los impactos del cambio climático se ejercen en cada sector de la sociedad y en los sistemas que apoyan su desarrollo.
- La distribución de estos impactos ha sido, y será siempre, desigual – una gente se verá más afectada que otra.

- Existen carencias en la comprensión del cambio climático y sus efectos.

Incorporar o integrar la adaptación al cambio climático como un componente transversal que quede recogido en las diferentes políticas sectoriales es una estrategia necesaria para el desarrollo sostenible a largo plazo. Los impactos del cambio no ocurren aislados, los impactos en un sector pueden afectar de forma adversa o positiva en otro, los sectores pueden verse afectados directa y/o indirectamente por el cambio climático y de hecho, algunas veces un cambio en un sector puede contrarrestar los efectos en otro (CMNUCC, 2007).

La adaptación requiere políticas, planificación espacial y prácticas de gestión flexibles para fortalecer la adaptabilidad inherente de las especies y hábitats y reducir las tendencias en las presiones antrópicas que aumentan la vulnerabilidad a la variabilidad climática (Hulme, 2005).

El proceso de adaptación depende de que se tenga una base institucional coherente. Las instituciones proporcionan o identifican los recursos financieros, técnicos y humanos, y establecen las organizaciones responsables de desarrollar objetivos específicos. Generalmente, encargarse de medidas sociales y de desarrollo a una escala nacional comienza con el establecimiento de una política. En el caso de la adaptación, como alternativa al diseño de una política específica de adaptación, es posible también establecer un marco político que genera un espacio institucional para incluir la adaptación como un elemento esencial de las políticas nacionales y sectoriales vigentes. Este enfoque reconoce tanto la naturaleza cruzada del cambio climático, como contribuye a un uso más eficaz de los recursos y las instituciones existentes. (Robledo & Forner, 2005).

Debe designarse un marco nacional de políticas para la adaptación según la situación institucional, social y económica existente en un país y que comprometa a todas las partes interesadas como los gobiernos, las instituciones, las ONG y el sector privado, para que puedan vincularse a las políticas en vigor. Debe proporcionar el anteproyecto de una estrategia nacional para reducir la vulnerabilidad y coordinar las acciones relacionadas con el cambio climático en otros sectores. Los mecanismos políticos para la adaptación son:

- Medidas legales y reguladoras.
- Medidas financieras y económicas.
- Medidas de participación pública.

Se están preparando estrategias de adaptación nacional en pocos países europeos mediterráneos (ej. Francia), varios países están llevando a cabo

evaluaciones globales y multisectoriales del cambio climático (ej. Portugal y España), y otros están realizando medidas de adaptación en el contexto de prevención de riesgos, protección ambiental y gestión de los recursos sostenibles (ej. Italia y Francia) (Menier, 2006). Hasta ahora, la adaptación al cambio climático se menciona raramente en las políticas nacionales, y las cuestiones sobre el cambio climático siguen dominadas por medidas de mitigación para aumentar el almacenamiento de carbono para su su secuestro o para las de energías renovables.

No se comprende de forma clara como la adaptación al cambio climático puede integrarse en la legislación vigente (Fondo Social Europeo, Fondo Europeo para el Desarrollo Regional), Directiva Marco sobre el Agua, LIFE+, Directiva del Hábitat, Estrategia forestal de la UE, y el Plan de Acción Forestal de la UE) Neufeldt, 2008). Existen, sin embargo, conceptos amplios que tienden a aumentar la resiliencia social frente al cambio climático mediante una mejor colaboración entre las partes interesadas y una mejor coordinación de actividades, la investigación en especies más resistentes a la sequía y en paisajes multifuncionales, la diversificación de la producción forestal, la monitorización de los bosques, o los sistemas de alerta temprana. La incorporación de estas medidas a la legislación nacional y regional no es completa y parece complicada por el gran número de actores implicados y puede que por las inconsistencias entre los diferentes niveles (Neufeldt, 2008).

El Libro Verde de la comisión Europea sobre la Adaptación²⁴ hace referencia a estas cuestiones por lo que se puede esperar que surgirá una estrategia europea más clara a finales de 2008.

El Libro Verde reconoce que es necesaria una “gobernanza multinivel” ya que “la gravedad de las consecuencias variará de una región a otra, dependiendo de la vulnerabilidad física el grado de desarrollo económico, la capacidad de adaptación natural y humana, los servicios sanitarios y los mecanismos de vigilancia de los desastres”. Define cuatro opciones prioritarias para un enfoque flexible en cuatro ejes:

- Una acción temprana para desarrollar estrategias de adaptación en las áreas donde el conocimiento sea suficiente.
- Integrar las necesidades globales de adaptación en la política de relaciones exteriores y construir una alianza nueva con socios en todo el mundo.

24 Para más información, visitar: <http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/>

- Cubrir las lagunas en el conocimiento sobre adaptación mediante la investigación y el intercambio de información a nivel de la UE.
- Establecer un grupo asesor europeo sobre adaptación al cambio climático para analizar estrategias y acciones coordinadas.

□ Oportunidades de cooperación

No es una tarea fácil integrar las preocupaciones sobre la adaptación, especialmente en los países del sur y el este del Mediterráneo, debido a una serie de restricciones (CMNUCC, 2007):

- Datos escasos sobre las opciones de adaptación y carencia de mecanismos para compartir la información y la gestión a lo largo de Europa.
- Baja capacidad del personal para planificar, implementar, monitorear y evaluar las opciones de adaptación.
- Analfabetismo y pobreza extendidos de la población rural.
- Conciencia limitada sobre la adaptación entre las partes interesadas y la población.
- Inestabilidad política.

La CMNUCC, el protocolo de Kyoto (especialmente el Plan de Trabajo de Nairobi) y otros instrumentos elaboraron mecanismos y programas útiles para reducir la vulnerabilidad y ayudar a la gente y a los ecosistemas, como son los bosques, en la adaptación al cambio climático. Las compensaciones adicionales e incluso algunas oportunidades para esta región del mediterráneo, fuertemente afectada y altamente vulnerable pueden generarse de una cooperación regional fuerte y de la armonización de los esfuerzos en las futuras negociaciones en un régimen post-Kyoto (Castaneda, 2008).

La cooperación Sur-Sur y Norte-Sur sobre adaptación es un instrumento eficaz para ampliar el conocimiento, compartir experiencias sobre las opciones de adaptación y promover marcos de colaboración (ej. redes, protocolos de hermanamiento, comisiones intergubernamentales y foros) para la implementación de las medidas de adaptación (proyectos conjuntos) en los países mediterráneos que comparten efectos parecidos del cambio climático en los ecosistemas forestales. Las actividades que se consideran más eficaces para colaboración regional son los proyectos que ayudan a identificar problemas y soluciones comunes, tales como desarrollar escenarios nacionales de cambio climático, resolver cuestiones de adaptación transfronterizas, como los recursos

hídricos, y desarrollar proyectos ‘hermanos’ entre los países que afrontan retos similares (CMNUCC, 2007). Los mecanismos de cooperación regional suponen un conjunto amplio de iniciativas de cooperación bilaterales y multilaterales, y su financiación por parte de las agencias intergubernamentales, los gobiernos, las instituciones y las agencias no gubernamentales. Es importante comprometer totalmente al sector privado activo en el sur y este de esta región en la planificación e implementación para asegurar un enfoque de la adaptación a largo plazo y sostenible.

Es vital promover un mejor acceso a la financiación y a las sinergias con fuentes de financiación externas al proceso de cambio climático. El PNUMA y el PNUD han lanzado una iniciativa conjunta de adaptación al cambio climático (la Asociación sobre el Cambio Climático de PNUD-PNUMA) que se dirige a ampliar la cooperación actual entre las dos organizaciones para ayudar los países a conseguir un desarrollo sostenible con miras al cambio climático (PNUD, 2006). Uno de los objetivos fundamentales de la Asociación es incluir la adaptación en los planes de desarrollo nacional y en el Marco de Cooperación de las NU a través de un enfoque triple:

- *Estrategias de desarrollo nacionales:* el PNUMA y el PNUD ayudarán a los países a evaluar su vulnerabilidad al cambio climático e incorporarán compromisos de adaptación dentro de la formulación e implementación de sus políticas nacionales y sus planes de inversión. Se pueden realizar sinergias fuertes entre la reducción de los riesgos del cambio climático y el desarrollo sostenible integrando los compromisos de adaptación en los esfuerzos para conseguir las prioridades del desarrollo, como la tenencia y la gestión de la tierra, seguridad alimentaria y, especialmente, la disponibilidad y calidad del agua; así como prioridades de desarrollo como cuestiones de gobernanza y de género.
- *Programación por País de las NU:* La Asociación ayudará a los Equipos por País de las Naciones Unidas a integrar el riesgo climático en la formulación e implementación de los marcos clave de cooperación de las NU y ayudará a los países a asumir prácticas que disminuyan su vulnerabilidad y refuercen su capacidad para afrontar la actual variabilidad y el cambio del clima.
- *Proyectos piloto:* La adaptación es un campo de trabajo nuevo y complejo, que requiere decisiones sobre inversión a largo plazo con una incertidumbre elevada. Como gestor del sistema de coordinación de la ONU a escala de países, el PNUD se encargará de que los grupos de expertos de todas las agencias correspondientes de las NU piloten medidas de adaptación en todos los sectores clave afectados, como la seguridad agrícola/alimentaria, los recursos hídricos y el desarrollo de las costas. El PNUMA y el PNUD

facilitarán también el acceso de todas las agencias correspondientes a los fondos sobre el cambio climático gestionados por el FMAM. Estos proyectos ayudarán a los países a evaluar los impactos del cambio climático y las opciones de adaptación, a desarrollar políticas y medidas de respuesta, y a priorizar la inversión subsiguiente. Las conclusiones de estos proyectos piloto retroalimentarán los servicios de asesoría política que integren la adaptación en los planes de desarrollo y los marcos de cooperación de las NU.

Algunos países del sur del Mediterráneo están actualmente en proceso de incluir las medidas de adaptación en sus planes de acción nacionales y medioambientales como primer paso hacia la implementación de la adaptación. Túnez ha invitado a Alemania a cooperar con el desarrollo de un proyecto de protección del clima innovador e integral. El programa de Protección del Clima para Países en Desarrollo (CaPP) de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) ha patrocinado un proyecto en este país con dos objetivos fundamentales:

- a) Un componente de Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), para que sea pionero y se beneficie de las oportunidades financieras y técnicas disponibles para proyectos llevados a cabo dentro del marco del MDL;
- b) El desarrollo de estrategias e ideas para la adaptación al cambio climático (Benjamin, 2007).

El proyecto “Adaptación al Cambio Climático en el Sector Agrícola” en Marruecos, financiado por el Banco Mundial, ha tenido también como objetivo principal el de proporcionar a los políticos el orden de magnitud de los impactos del cambio climático, en términos físicos y económicos, en el sector agrícola, e identificar las opciones políticas prioritarias para la adaptación²⁵. La FAO coopera con Marruecos en el marco de este proyecto, mediante un estudio del impacto del cambio climático sobre las cosechas²⁶. Los pasos sucesivos seguidos en este proyecto son:

- a) desarrollar proyecciones del cambio climático,
- b) evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura (las cosechas),

25 Para más información, visitar <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/MENAEXT>

26 Para más información, visitar <http://www.fao.org/climatechange/49385/en/mar>

- c) evaluar los impactos potenciales en los sistemas agrícolas,
- d) evaluación de los impactos económicos, y
- e) desarrollo de opciones políticas apropiadas de adaptación. El enfoque adoptado para evaluar el impacto del clima futuro en las cosechas en Marruecos se basa en la experiencia de la FAO en establecer y operar sistemas de predicción de las cosechas en tiempo real en una serie de países en todo el mundo en un contexto de la seguridad alimentaria.

6 | Anexo

DECLARACIÓN DE ATENAS

Adaptación al Cambio Climático en la Conservación y Gestión del Bosque Mediterráneo

abril 2008

Preámbulo

Del el 14 al 16 de abril de 2008, expertos en el Mediterráneo, científicos, ONG, conservacionistas, representantes de gobiernos y organizaciones internacionales se reunieron en Atenas, Grecia, para discutir cuestiones relacionadas con los impactos del cambio climático en el bosque mediterráneo junto con las amenazas y retos ya en curso que afectan a estos ecosistemas y a los pueblos que dependen de ellos, y para buscar oportunidades de adaptación y opciones para fortalecer su resiliencia social y ambiental

Los bosques mediterráneos, arboledas y matorrales, situados en la una zona de transición entre los continentes de Europa, África y Asia, son uno de los puntos calientes del planeta en términos de diversidad biológica y están vinculados a unas características culturales extraordinarias. La vegetación mediterránea incluye 25.000 especies florales, que representan un 10% de las plantas con flores del mundo en solo el 1,6% de la superficie de la Tierra. Es también el segundo líder mundial en endemismo vegetal, con un 50% (13.000) de estas especies que no se encuentran en ningún otro lugar de la Tierra. Los grupos de especies con una distribución paneuropea, tales como el abeto, el haya, el pino y el roble tienen su mayor diversidad en la región mediterránea, y las poblaciones mediterráneas son las más variables en términos de diversidad genética. Además, los bosques mediterráneos también albergan una asombrosa diversidad de fauna, especialmente visible en términos de la proporción existente entre riqueza de especies y área.

Los bosques proporcionan servicios ambientales indispensables para la sociedad: estabilización del suelo, mejor captación de aguas superficiales, abastecimiento de madera, alimentos y medicinas, estabilización de los microclimas urbanos, o incluso áreas de recreo y descanso. Estos servicios

tienen una importancia considerable para los ambiente extremos, como el clima mediterráneo, donde la escasez de agua constituye el principal factor limitante y la distribución irregular del agua puede derivar fácilmente la erosión del suelo y en arroyaderos si se pierde la cubierta de bosque.

Las principales causas de degradación de los bosques mediterráneos son los cambios rápidos y bruscos en el uso del suelo debidos principalmente a la presión del desarrollo y a la expansión urbana descontrolada, la fragmentación de los hábitats causada por las infraestructuras de transporte, la sobreexplotación de los recursos y la contaminación son algunos de los factores que están afectando a los bosques mediterráneos y causando su degradación. Si a esto le añadimos el cambio climático, acompañado de las olas de calor, sequías y aumentos generalizados de temperatura, la resiliencia y la capacidad de adaptación de los bosques se van agotando.

Considerando que:

- El cambio climático está teniendo lugar y está agravando las presiones existentes y los originantes de la pérdida y degradación del bosque;
- Los incendios forestales incontrolados están entre las consecuencias más directas e inmediatas del cambio climático sobre los bosques mediterráneos, y que los impactos del cambio del cambio en el clima, tales como periodos extensos de sequía fenómenos meteorológicos extremos (olas de calor y vientos fuertes), combinados con cambios no sostenibles en uso de la tierra, prácticas de mala gestión, falta de conciencia y falta de estrategias adecuadas de gestión de los incendios, están conduciendo a la tendencia alarmante del aumento en la frecuencia, intensidad y extensión de los incendios;
- Los países mediterráneos comparten asuntos comunes en materia de conservación y desarrollo económico a pesar de las diferencias significativas que están presentes todavía a lo largo de las costas del mar Mediterráneo en términos de producto interior bruto per cápita, cobertura de la superficie forestal y estructura de propiedad de la tierra;
- A pesar de los esfuerzos desplegados, los ecosistemas forestales mediterráneos presentan un nivel de degradación que es aún alarmante, amenazando los recursos naturales y la herencia cultural en esto;
- El cambio climático, compuesto por procesos “mal adaptativos” y usos inadecuados de la tierra (cambios en el uso de la tierra rápidos y no sostenibles, abandono rural y sobre explotación de los recursos de la tierra)

es probable que reduzcan la adaptabilidad del bosque mediterráneo para acomodarse de forma autónoma al cambio climático, y que aumenten la frecuencia e intensidad de estallidos de agentes patógenos, episodios de agostamiento, incendios incontrolados y otros desastres a larga escala;

- Los pueblos y economías mediterráneas se verán afectadas principalmente por la disminución de las áreas arboladas normalmente sustituidas por comunidades arbustivas propensa a los incendios, la fragmentación en aumento del paisaje, que pueden impedir en consecuencia las oportunidades de migración/dispersión de un número de especies en riesgo de extinción, y disminuir los aumentos anuales y los ingresos subsiguientes de los bosques;

Los participantes:

- **Urgen a todos los países mediterráneos a integrar las necesidades de reducción del riesgo de incendios y adaptación al cambio climático en todas las políticas sectoriales, reglamentos y planes de desarrollo rural/urbano vinculados con los ecosistemas forestales, a los niveles nacionales, regionales y de la UE a**
 - a) Seguir mejorando la cooperación entre el gobierno, la comunidad científica, ONGs, los grupos de la sociedad civil y las organizaciones internacionales para la planificación y el diseño participativos de paisajes *inteligentes al fuego*;
 - b) Fortalecer las relaciones entre los gestores de los bosques y las áreas rurales y comunidades locales, para asegurar que los bosques se perciben como oportunidades para aumentar los medios de vida y para la promoción de mecanismos para el desarrollo rural sostenible, mediante la difusión de información la conciencia pública;
 - c) Apoyar el desarrollo de procesos de planificación rural participativos que den poder a los usuarios de la tierra y a las poblaciones rurales y les proporcionen usos de tierra resilientes y buenas prácticas aplicables a hábitos de cultivo adaptativos y la reducción de combustible en los paisajes forestales;
 - d) Elevar la conciencia de la necesidad urgente de adoptar un nuevo enfoque de aprender a vivir con el fuego, con el fin de cambiar los regímenes de incendios a niveles aceptables desde una perspectiva social, económica y ambiental, en vez de una estrategia estricta de supresión del incendio forestal.

- **Urgen a todos los países mediterráneos a cambiar las estrategias predominantemente de respuesta a las catástrofes naturales, como la lucha contra el fuego, a otras estrategias y políticas integradas de gestión del fuego (o cualquier otra perturbación importante) que**
 - a) Incorporen cinco componentes clave: (1) Investigación sobre la dinámica y las causas radicales de los incendios, (2) reducción del riesgo y prevención, (3) presteza , (4) respuesta, y (5) recuperación
 - b) Acentúen la necesidad esencial de acentuar las medidas para la ejecución de acciones innovadoras en la gestión de incendios, evaluando la eficacia de las herramientas y políticas aplicables a la reducción del riesgo de incendio, la prevención y el control, e integrar la reducción de la vulnerabilidad y la prevención de incendios como parte también de unas herramientas de planificación y prácticas de gestión del paisaje más amplias;
 - c) Reconozcan el papel esencial que la población rural puede jugar en la disminución de la vulnerabilidad, y la necesidad de procesos de planificación participativos que apoyen la identificación y la adopción de usos de la tierra y patrones del paisaje resilientes
- **Urgen a todos los países mediterráneos a desarrollar conjuntamente, evaluar la eficacia realizar el ajuste fino de las estrategias y herramientas de adaptación al cambio climático a través de estudios de casos a**
 - a) Repensar las Áreas Protegidas individuales y las redes regionales y nacionales de AAPP, basadas en el “enfoque de ecosistema” a una escala de paisaje más amplia, y asegurar las disposiciones tanto para la permanencia *in situ* de reservas mediterráneas singulares de diversidad forestal (fenotipos, especies y comunidades, como para facilitar las necesidades de migración de las especies;
 - b) Proporcionar recomendaciones a los gestores del bosque y la tierra para aumentar la resiliencia del bosque al cambio climático, tales como el incremento de la diversidad a todos los niveles (genotipos y composición de especies en las masas de bosque, tipos de hábitat y carácter de mosaico de los paisajes forestales), cambios en las prácticas silviculturales (ej. clareado para una disposición de espacio más amplio para mejorar la resistencia a las condiciones de sequía y escasez de agua, periodos de rotación más largos para aumentar la captura de carbono) y cambios en las prácticas de gestión del suelo (ej. bajo laboreo

y mantenimiento de suelo permanente para reducir los grados de erosión y la inundación por arroyadas y aumentar la absorción y retención de agua;

- c) Alentar a los gestores, científicos y técnicos forestales a evaluar y promover la valoración económica y el uso sostenible de productos y servicios forestales activamente, un paso clave para reducir las presiones actuales sobre los ecosistemas naturales y aumentar la capacidad de los sistemas ecológicos y sociales para acomodarse al cambio climático;
 - d) Alentar las iniciativas de restauración del paisaje forestal que contribuyan a mantener los procesos ecológicos básicos y los valores de la biodiversidad, para crear patrones de paisaje, hábitats y composiciones de especies que sean más resilientes a perturbaciones a gran escala como el fuego, y proporcionen una gama más amplia de beneficios para las sociedades rurales
 - e) Promover resultados con éxito de los proyectos e iniciativas actuales dirigidos a aumentar la resiliencia de los bosques y pueblos mediterráneos a los impactos del cambio global y fomentar la capacidad de reproducirlos y adaptarlos mediante las iniciativas ulteriores pertinentes dirigidas los diferentes contextos ecológicos y socioeconómicos mediterráneos;
- **Expresan la necesidad urgente de cooperación Norte-Sur mediterránea a todos los niveles para afrontar las amenazas, específicamente con la condición de mejorar el compartir conocimiento, la investigación científica, las capacidades de desarrollo, y desarrollar sociedades para la ejecución de procesos adecuados de adaptación al cambio climático adecuados a las condiciones de conservación de la biodiversidad y los valores culturales, y la gestión de los recursos naturales**
- a) Se sugiere el establecimiento de un cuerpo de expertos de los países mediterráneos, con objeto de reunirse regularmente para estudiar y evaluar los cambios y sus impactos esperados que pudieran afectar a los ecosistemas mediterráneos y a las sociedades rurales en general, y de desarrollar y proponer medidas y políticas;
 - b) La comunidad científica se deberá comprometer a hacer el conocimiento fácilmente accesible a la gente y a los responsables de la toma de decisiones, así como a trabajar juntos con los comunicadores y otros actores relevantes para facilitar el uso de una lengua común, evaluaciones económicas, estudios de caso y herramientas visuales.

- c) Todos los técnicos se deberán comprometer a intercambiar información y experiencia y trabajar juntos mediante el establecimiento de redes regionales con un enfoque equilibrado Norte-Sur, para promover iniciativas concretas sobre investigación y monitorización, así como a actividades que tienen por objetivo el desarrollo de capacidades a todos los niveles;
- d) Alcanzar una cultura de entrenamiento continuo y un desarrollo de intercambios de saber hacer y de experiencias resulta crucial para que los usuarios de la tierra capacitados que participen en acciones de reducción de la vulnerabilidad y la prevención de incendios, e integrándolas en sus prácticas de gestión, para crear brigadas de lucha contra incendios forestales debidamente especializadas y equipadas, y garantizar sistemas de coordinación eficaces que impliquen a los poderes públicos, los gestores de la tierra, las instituciones científicas y las brigadas de lucha contra incendios.
- e) Es esencial implicar al sector privado como socio en el trabajo de conservación, gestión y restauración.
- f) Organizaciones internacionales de la región mediterránea tales como UICN, WWF, FAO y PNUD, incluyendo las diferentes redes nacionales e internacionales, deberán comprometerse a aumentar la colaboración sobre los bosques mediterráneos y la adaptación al cambio climático, con el fin de asegurar una fuerte representación de los bosques mediterráneos en las políticas y foros internacionales sobre medio ambiente.
- g) Los países de la región deberán posicionarse urgentemente a favor de la conservación y la gestión sostenible para convertirlas en prioridades en los niveles nacional, regional y de la UE. Con este fin, se deberán desarrollar herramientas potentes para concienciar y educar a las sociedades sobre los servicios que ofrecen los bosques Mediterráneos.

Asimismo, los participantes:

- Reconocen el importante papel que los países mediterráneos desempeñan en asegurar la presencia de una representación técnica y política altamente capacitada en las negociaciones y foros internacionales que traten de políticas forestales;
- Solicitan que los gobiernos y todos los colaboradores relevantes trabajen juntos para asegurar una amplia difusión de las conclusiones y resultados del encuentro.

Los participantes reconocen que esta declaración solo puede ser implementada en un contexto de cooperación y solidaridad en nuestra región.

Adaptation au changement global

Les forêts méditerranéennes

Pedro Regato

La terminologie géographique employée dans cet ouvrage, de même que sa présentation, ne sont en aucun cas l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'Agence espagnole de coopération internationale pour le développement (AECID), de l'UICN, de la WWF et de la FAO sur le statut juridique ou l'autorité de quelque pays, territoire ou région que ce soit, ou sur la délimitation de ses frontières.

Les opinions exprimées dans cette publication ne représentent pas nécessairement celles de l'Agence espagnole pour la coopération internationale au développement (AECID), de l'UICN, de la WWF et de la FAO.

L'UICN et autres organisations partenaires nient toute responsabilité en cas d'erreurs ou d'omissions survenues lors de la traduction en français de ce document dont la version originale est en anglais.

Cet ouvrage a pu être publié grâce au soutien financier de l'Agence espagnole pour la coopération internationale au développement (AECID).

Ouvrage publié par: UICN, Gland, Suisse et Malaga, Espagne
Ouvrage co-édité par: l'UICN, le WWF et la FAO
Droits d'auteur: © 2008 Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources
Toute reproduction de cette publication à des fins pédagogiques, ou toute autre utilisation non commerciale, est autorisée sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois être reproduites pour la revente ou toute autre utilisation commerciale sans autorisation préalable écrite du détenteur des droits d'auteur.

Citation: Regato, Pedro. 2008. *Adaptation au changement global, Les forêts méditerranéennes*. Malaga, Espagne : Centre de coopération pour la Méditerranée de l'UICN. ii+254p.

Participants au rapport: Mokadem Aissa ; Nora Berrahmouni ; Cassandra Brooke ; Miguel Bughalo ; Jose Antonio Carreira ; Froylan Castaneda ; Marco Conedera ; Bruno Fady ; Christos Giannakopoulos ; Paul Grigoriev ; Dionisia Hatzilacou ; Lourdes Hernández ; Habib Kachouri ; Sedat Kalem ; Petros Kakouros ; Nikolaos Kasimis ; R. Alexander Kastl ; Zoi Katsioti ; Mouna Khaznadar ; Hala Kilani ; Constantinos Liarikos ; Giannis Mahairas ; Tahar Mahdid ; Nera Markovic ; Alexa Morrison ; Henry Neufeldt ; Tuncay Neyisci ; Aristotelis Papageorgiou ; João Pinho ; Kalliopi Radoglou ; Ioannis Raftogiannis ; Francisco Rego ; Beatrice Riche ; Carole Saint-Laurent ; Rami Salman ; Christoph Stein ; Aram Ter-Zakaryan ; Alejandro Valdecantos ; Daniel Vallauri ; Theoharis Zagkas ; Katalin Zaim ; Draganica Zaja.

ISBN: 978-2-8317-1098-3
Traducteurs et réviseurs: Simon Beswetherick, Nora Berrahmouni, Isabel Moyano, Martin Paulin, Pedro Regato, Rami Salman, Alexandra Salmon-Lefranc.

Dépôt legal:
Mise en page: Chadi Abi Faraj
Couverture conçue par: Pedro Regato
Ouvrage produit par: Centre de coopération pour la Méditerranée de l'UICN (UICN-Med)
Ouvrage imprimé par: Solprint, Mijas (Malaga), Espagne
Disponible auprès de: Centre de coopération pour la Méditerranée de l'UICN
C/ Marie Curie 35
29590 Campanillas, Malaga, Espagne
Tel: +34 952 028430 - Fax: +34 952 028145
<http://www.iucn.org/publications>

Cet ouvrage est imprimé sur papier



Index

Préface	163
1- Introduction	165
2- Tendances du réchauffement climatique	167
□ Preuves actuelles du changement climatique en Méditerranée	168
□ Tendances climatiques projetées en Méditerranée	172
3- Que pouvons-nous apprendre des périodes antérieures de changement climatique afin de répondre aux changements à venir ?	177
□ Migration des espèces en réponse aux périodes antérieures de changement climatique	178
□ Adaptation in situ des espèces aux périodes antérieures de changement climatique	183
4- Impacts actuels et prévus du changement climatique sur les forêts méditerranéennes	187
□ Changements écologiques	187
□ Incendies de forêts à grande échelle	194
□ Dépérissement des forêts	198
□ Parasites forestiers	198
□ Espèces envahissantes	198
5- Adaptation au changement climatique	201
□ Que signifie la notion d'adaptation ?	201
□ Les forêts et leur adaptation au changement climatique	202
□ Options d'adaptation pour les forêts méditerranéennes	205
□ L'adaptation pour le renforcement de la résilience sociale	217
□ Besoins de renforcement des capacités en matière d'adaptation	223
□ Cadres institutionnels et politiques favorisant l'appui des options d'adaptation	230
6- Annexe : Déclaration d'Athènes	237
Bibliographie	245

Préface

Les forêts figurent parmi les écosystèmes les plus importants de la région méditerranéenne. Elles sont riches en biodiversité et fournissent une variété de services environnementaux. Les changements rapides et brusques dans l'utilisation des sols dus aux pratiques et techniques inadaptées de gestion, y compris la surexploitation des ressources naturelles, les pressions imposées par le développement et le marché international, la dégradation et la perte des habitats naturels ainsi que la pollution, ne sont que quelques exemples des principaux facteurs qui menacent les forêts méditerranéennes et provoquent leur dégradation. Si l'on ajoute le changement climatique à cette liste, accompagné de phénomènes climatiques extrêmes tels les vagues de chaleur, pluies torrentielles, périodes de sécheresse et violentes tempêtes, la capacité de résilience et d'adaptation des forêts se trouve par conséquent largement amoindrie..

Les incendies de forêts à grande échelle comptent parmi les impacts les plus directs et les plus imminents du changement climatique sur les forêts méditerranéennes. Les impacts du changement climatique, combinés aux changements en matière d'utilisation des sols et à la gestion inadaptée des forêts, contribuent à accroître encore davantage la fréquence, l'intensité et l'étendue des incendies forestiers. Cette tendance a particulièrement été observée sur la rive nord de la Méditerranée (par exemple, au Portugal, au sud de la France, en Espagne, en Italie et en Grèce) au cours des deux dernières décennies. Si ces conditions deviennent prévalentes au sud de la Méditerranée, les répercussions sur les écosystèmes forestiers de la région seront dramatiques.

Le changement climatique figure parmi les priorités nécessitant des actions urgentes pour les gouvernements régionaux, institutions de recherche et organisations internationales opérant dans la région. L'UICN, le Fonds Mondial pour la Nature (WWF) et l'ensemble des organisations actives dans le domaine de la conservation se sont engagés à travailler activement dans le domaine lié aux forêts et au changement climatique. Ces travaux incluent, entre autres, le développement et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation afin de pallier aux incertitudes générées par le changement climatique, et renforcer la résilience écologique et sociale.

Le Centre de coopération pour la Méditerranée de l'UICN (UICN-Med), le Programme méditerranée du WWF (WWF MedPO) et le WWF Grèce ont réuni les organisations membres, les partenaires et les experts autour d'un atelier régional intitulé « Adaptation au changement climatique dans la conservation et la gestion des forêts méditerranéennes qui s'est tenu à Athènes (Grèce) du 14 au 17 avril 2008. Au cours de cet atelier, les participants des ONG régionales, institutions de recherche, organisations gouvernementales et intergouvernementales, ainsi que les gestionnaires forestiers et gestionnaires des aires protégées, ont analysé les besoins et possibilités en terme de renforcement de la résilience forestière et sociale face au changement global. Les participants ont discuté des projections du changement climatique pour la région. Des stratégies et outils d'adaptation au changement climatique, qui se sont avérés efficaces dans d'autres régions, ont également été présentés.

Les participants à l'atelier ont rédigé une déclaration conjointe (la Déclaration d'Athènes). Celle-ci est incluse dans les annexes de cette publication. Cette Déclaration encourage tous les pays méditerranéens à mettre en place, évaluer et améliorer les stratégies et outils de réduction des risques et d'adaptation au changement climatique. La Déclaration souligne également le besoin urgent d'une coopération nord-sud au sein de la région.

L'atelier a été financé conjointement par le Centre pour la Coopération Méditerranéenne de l'UICN, le Programme Méditerranée du WWF, ainsi que les fondations A.G. Leventis, I.S. Latsis and Bodosakis, qui financent le programme « Forêts pour le Futur » du WWF Grèce.

Cette publication sert d'édifice à l'élaboration d'un programme conjoint de travail et de stratégie sur l'adaptation des forêts méditerranéennes au changement climatique. Elle a été élaborée grâce aux contributions des organisations internationales telles que la FAO, le PNUD, la GTZ, le WWF et l'UICN, des partenaires et organisations membres, des gestionnaires forestiers et utilisateurs des forêts, des représentants gouvernementaux et des institutions de recherche et du secteur privé.

Cette publication a été préparée avec le soutien financier de l'Agence espagnole pour la coopération internationale au développement (AECID).

1 Introduction

Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques qui s'adaptent continuellement aux changements environnementaux. Dans le passé, les écosystèmes forestiers de la Méditerranée ont subi de nombreux changements climatiques auxquels ils ont dû répondre de manière distincte (tolérance au changement environnemental due à la plasticité phénotypique de certaines espèces, adaptation suite à des processus d'évolution entraînant l'apparition de nouvelles espèces, sous-espèces et nouveaux génotypes, migration vers des lieux plus favorables, extinction). Le nombre important d'espèces reliques tertiaires et d'espèces paléo-endémiques au sein des forêts méditerranéennes met en évidence leur capacité d'adaptation aux changements environnementaux et leur capacité à survivre à travers les millénaires. Néanmoins, une chute de la population d'espèces arborescentes et une réduction des écosystèmes forestiers ont également été démontrés aux niveaux local et régional en raison, principalement, des périodes antérieures de changement global (combinaison des changements climatiques antérieurs et impacts anthropogènes). Par exemple, aux niveaux local et régional, des communautés et espèces forestières se sont éteintes suite à des incendies de forêts en réponse à la fois aux changements climatiques de l'Holocène et aux feux de forêts d'origine anthropogénique du Néolithique dus à la conversion des forêts en terres arables et de parcours (Tinner et al., 2005; Carrion, 2003).

Les projections convergent vers un même scénario : des changements climatiques rapides et intenses sont attendus au cours des 100 prochaines années. Il est très probable que ces changements génèrent des impacts significatifs sur les écosystèmes forestiers de la Méditerranée. Étant donné l'importance des impacts anthropogéniques dans cette région, les forêts régionales seront particulièrement vulnérables aux changements environnementaux à venir et à leurs répercussions. Par exemple, selon les données paléoécologiques mentionnées, si la fréquence des incendies augmente dans la région méditerranéenne en réponse aux variations climatiques projetées (tel était le cas pour la portion européenne de la région au cours des deux dernières décennies), les écosystèmes forestiers vulnérables, tels les divers types de forêts de conifères montagneux endémiques, seront particulièrement menacés de disparition. Par conséquent, des politiques et pratiques de conservation et de gestion des forêts doivent être mises en oeuvre afin d'instaurer des stratégies d'adaptation visant à mettre fin et à inverser la tendance actuelle à la dégradation de l'environnement, mais aussi à réduire le risque de pertes inacceptables à l'avenir.

2 Tendances du réchauffement climatique

Le quatrième rapport d'évaluation (Solomon et al., 2007) du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) fournit des estimations prévisionnelles plus approfondies sur le changement climatique à venir. Le rapport intègre les nouveaux résultats des travaux de recherche, mais aussi les progrès effectués en matière de compréhension des indicateurs clés du changement climatique, à savoir les éléments moteurs, les processus, et les estimations de son évolution future. Aujourd'hui, nous sommes *pratiquement certains*¹ que le réchauffement climatique depuis 1750 est imputable à l'ensemble des activités humaines. L'ère industrielle a connu les plus hautes variations de températures des 10 000 dernières années. La majorité des augmentations de températures moyennes globales observées depuis le milieu du 20^{ième} siècle est *très probablement*² attribuable à des concentrations croissantes de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique.

Gaz à effet de serre	Concentration atmosphérique	Taux d'augmentation	Source première
Dioxyde de carbone	Excède nettement la concentration naturelle des 650 000 dernières années selon les carottes glaciaires	Le taux d'augmentation annuel est sans précédent depuis les 10 dernières années	L'utilisation de combustibles fossiles et, dans une moindre mesure, les changements en matière d'utilisation des sols
Méthane			L'agriculture et les combustibles fossiles, mais la contribution relative de chaque source n'est pas clairement établie
Oxyde nitreux	A cru considérablement par rapport aux niveaux préindustriels	Taux d'augmentation constant depuis 1980	Plus d'un tiers de toutes les émissions de N ₂ O est dû à l'agriculture

1 9 chances sur 10 que le résultat soit exact.

2 Jusqu'à 90 % de probabilité.

De façon générale, la température moyenne mondiale a augmenté de 0,76°C (de 0,57 à 0,95°C) depuis 1850 et 11 des 12 dernières années (1995-2006) figurent parmi les 12 années les plus chaudes depuis cette date (Kettunen et al., 2007). Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC envisage un réchauffement anticipé d'environ 0,2°C tous les 10 ans pour les deux prochaines décennies. La plupart des scénarios mettent en évidence des augmentations de températures annuelles de plus de 2°C d'ici 2080 par rapport aux températures moyennes de 1960-1990 (Lindner, 2006).

En ce qui concerne les précipitations, quoique des modèles variés aient été observés, il existe toujours une variance saisonnière et régionale considérable entre les différents modèles de projections, ce qui entraîne un haut niveau d'incertitude. Les régions humides tendent à devenir plus humides et les régions sèches et arides deviennent encore plus sèches (Lindner, 2006).

Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC met en évidence les principaux changements à long terme observés :

- Variations observées des températures arctiques et changements observés pour ce qui est de l'étendue des glaces de mer arctiques.
- Changements observés pour ce qui est des précipitations et tendances à la sécheresse dans les régions du Sahel, le bassin méditerranéen, le sud de l'Afrique et l'Asie du sud.
- Variations observées de la salinité océanique.
- Changements observés pour ce qui est de la structure des vents avec une intensification des vents d'ouest dans les latitudes moyennes des deux hémisphères.
- Changements climatiques extrêmes avec une augmentation de l'intensité et de la fréquence des périodes de sécheresse sur des superficies plus étendues depuis 1970 ; intensification des précipitations sur la plupart des superficies terrestres ; accroissement de la fréquence des vagues de chaleur et croissance de l'intensité des cyclones tropicaux.

Preuves actuelles du changement climatique en Méditerranée

La région méditerranéenne se caractérise par un type de climat estival chaud/sec au sein d'une zone de transition située entre deux zones distinctes (climat tempéré humide et froid au nord et climat chaud et désertique au sud). Cette région est donc très vulnérable aux changements environnementaux. En effet, des déplacements de la bande climatique de seulement quelques degrés vers le nord ou le sud pourraient causer des changements dramatiques, tels la désertification sur des territoires jusqu'alors humides (Ortolani & Pagliuca, 2006).

Les études entreprises par le GIEC (Solomon et al., 2007) et l'Agence européenne pour l'environnement ont conclu que les changements climatiques d'origine anthropogénique ont déjà un impact néfaste significatif sur les espèces et les habitats au niveau planétaire, et constituent probablement la menace la plus grave pour la biodiversité mondiale. Les projections de changement climatique doivent tenir compte de l'impact des perturbations anthropogéniques passées, présentes et futures sur les écosystèmes naturels qui ont réduit leur capacité d'adaptation aux variations climatiques. Les écosystèmes méditerranéens les plus vulnérables sont les îles, les zones arides et les montagnes.

L'étude intitulée « Impacts du changement climatique en Méditerranée suite à une hausse de la température globale de 2°C », commanditée par le WWF (Giannakopoulos et al., 2005), met en évidence un changement climatique durant la dernière moitié du 20^{ième} siècle qui s'est caractérisé par un réchauffement hivernal et estival sur une portion importante de la région, et par une réduction statistiquement significative des précipitations. Toutefois, ces tendances diffèrent entre les sous-régions et les époques. Les constatations suivantes méritent d'être soulignées :

- Une hausse des températures annuelles de 0,75°C au cours du 20^{ième} siècle avec des valeurs légèrement plus élevées l'hiver et l'été (Giorgi, 2002) ;
- Une nette différenciation est-ouest : la tendance estivale au réchauffement est plus marquée dans la portion ouest (jusqu'à 3°C/50 ans), enregistrée en deux phases : du milieu des années 1920 jusqu'à 1959, puis du milieu des années 1970 et au-delà (Brunet et al., 2002 ; Galan et al., 2001) ;
- De 1900 à 2005, une diminution des précipitations hivernales (d'environ 20 %, particulièrement depuis 1970) a été observée dans le bassin méditerranéen, une région où la hauteur des précipitations est un facteur limitant majeur pour les organismes vivants (Solomon et al., 2007 ; Petit et al., 2005 ; Giorgi, 2002). Jacobbeit (2003) a démontré, au cours des trois dernières décennies, quelques augmentations au niveau des précipitations automnales (péninsule ibérique de l'ouest et sud de la Turquie), mais aussi des diminutions de la pluviométrie importantes en hiver et au printemps ;
- Une diminution du nombre de jours humides et une concentration des précipitations plus intense dans certaines régions côtières méditerranéennes, essentiellement en Espagne et en Italie ;
- Une augmentation des écarts de température diurnes/nocturnes : les températures maximales ont augmenté à un taux plus élevé que les températures minimales.

Il est très probable que les anomalies climatiques, ainsi que les changements environnementaux qui se sont produits en Méditerranée lors des dernières décennies, aient été causés par le réchauffement planétaire. Les principales projections pour les systèmes terrestres méditerranéens décrites ci-dessous peuvent être considérées comme des impacts anthropogéniques du changement climatique.

□ Régression des glaciers

Espagne continentale méditerranéenne³

les quelques glaciers espagnols existants, situés sur le flanc sud des Pyrénées, fondent rapidement : en 1980, on dénombrait 27 glaciers pyrénéens ; ce chiffre est tombé à 10 en 2000. La superficie totale occupée par les glaciers a chuté de 1 779 hectares en 1894 à 290 en 2000, soit une baisse de 85 % de la superficie. De plus, 52 % de cette baisse s'est produite durant les 20 dernières années, dont 30 % entre 1991 et 2001. Les tendances actuelles prévoient que d'ici 2005, la superficie couverte par les glaciers atteindra un niveau aussi bas que 65 hectares, avec seulement 9 hectares d'ici à 2050, pour disparaître entièrement entre 2050 et 2070.

Turquie méditerranéenne

deux tiers des glaciers turcs sont concentrés dans la partie centre-est de la Chaîne du Taurus. Les données disponibles sur les glaciers turcs indiquent que le premier recul des glaciers remonte probablement au début du 20^{ième} siècle et que leur retrait n'a cessé de s'accélérer depuis les années 1930 (Çiner, 2003).

□ Phénomènes climatiques extrêmes

les événements extrêmes représentent le véritable défi du changement climatique et sont probablement les principaux éléments moteurs des changements survenus au niveau des écosystèmes. De plus, les phénomènes climatiques extrêmes entraînent des anomalies de flux de carbone, à savoir des augmentations significatives du taux de CO₂ atmosphérique. Au niveau mondial, l'année 2003 s'est caractérisée par l'un des flux de carbone atmosphérique les plus importants jamais enregistrés depuis 1980. Durant cette année, l'Europe a subi une hausse considérable du flux de carbone de la terre vers l'atmosphère, associée à un été exceptionnellement chaud et sec dans les régions occidentales et centrales (Jones & Cox, 2005).

Vagues de chaleur

les archives de température confirment une augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur estivales (de courtes périodes

3 Informations extraites du site Internet : <http://www.iberianature.com/material/glaciers.htm>

de journées très chaudes, dont l'humidité atmosphérique est très basse, fréquemment associées à des vents forts), ainsi qu'une réduction de la fréquence des vagues de froid (de courtes périodes de journées très froides) au cours des trois dernières décennies. Les vagues de chaleur surviennent au niveau sous-régional et ne se produisent pas à la même période, ou même au cours de la même année, sur les différents territoires méditerranéens⁴.

Sécheresse

la sécheresse est un phénomène naturel dans la région méditerranéenne, fait principalement attribuable à son climat irrégulier et au prolongement périodique des précipitations typiquement basses en saison estivale sur de plus longues périodes. Dans l'ouest de la Méditerranée, les périodes de sécheresse sont associées à l'effet de blocage des fronts de haute pression subtropicaux de l'Atlantique Nord qui empêchent les fronts polaires d'atteindre la péninsule ibérique.

Cependant, la fréquence et l'intensité des périodes de sécheresse se sont accrues durant les dernières décennies et les projections traduisent une aggravation en réponse au changement climatique global, à l'augmentation des températures et à la chute des niveaux de précipitations. La sécheresse de 2005 a principalement touché plusieurs régions de l'Europe du nord-ouest (la majeure partie de l'Angleterre et de la France, par exemple), mais a eu des conséquences plus graves dans la région méditerranéenne, affectant presque tout le Portugal, la Syrie, l'Égypte et la Libye, ainsi que de vastes portions du sud et de l'est de l'Espagne, le nord de l'Italie, l'Anatolie centrale et l'est du Maroc (Ishendal & Schmidt, 2006).

Selon la Quatrième Communication Nationale du Portugal à la CCNUCC, la sécheresse a été la plus importante en 91/92, 92/93, 94/95, 98/99, 99/00 et 04/05. Le niveau de précipitations en janvier 2005 dans les régions centrale et sud s'est avéré plus bas que les valeurs minimales observées depuis 100 ans.

Les écosystèmes terrestres semblent répondre aux sécheresses par une augmentation du flux de carbone vers l'atmosphère due à une baisse de

4 La Quatrième communication nationale du Portugal à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques – CCNUCC - (2006) met en évidence un accroissement de l'intensité des vagues de chaleur au Portugal continental. La fréquence des vagues de chaleur la plus haute a été enregistrée durant les années 1990. Des événements particulièrement longs et étendus se sont produits en 1981, en 1991 et en 2003, et deux vagues de chaleur se sont rapidement succédées entre fin mai 2005 et juin 2005.

production primaire brute (puits de CO₂) par rapport à la respiration de l'écosystème (source de carbone). Une étude comparative multi-modèles suggère que les écosystèmes terrestres d'Europe de l'ouest ont libéré du carbone supplémentaire vers l'atmosphère en réponse à la sécheresse de 2003 par rapport à la base de référence (1998-2002) (Vetter et al., 2007). En outre, un certain nombre d'études révèlent que les conséquences d'une sécheresse étendue pourraient être perceptibles dans les flux de carbone des écosystèmes pendant au moins 3 à 5 ans après l'événement en question. En effet, comprendre la réaction des écosystèmes aux événements de sécheresse à grande échelle demeure une question d'importance, particulièrement si l'on considère que de tels événements sont susceptibles de devenir plus fréquents et plus intenses à l'avenir et que la périodicité des sécheresses à grande échelle pourrait devenir beaucoup plus courte (par exemple, les écosystèmes européens ont subi une autre sécheresse en 2005), limitant la faculté de rétablissement des écosystèmes, ce qui demandera sans doute plus de temps et augmentera les émissions de carbone sur des périodes plus longues.

Fortes tempêtes

un différent type de tempête est apparu pour la première fois dans la péninsule ibérique en 2005 : le premier cyclone européen – l'ouragan Vince – a frappé la côte sud-ouest de l'Espagne en octobre. L'ouragan Vince est la première tempête tropicale à se former aussi loin au nord-est de l'océan Atlantique. De plus, elle s'est développée au-dessus d'eaux jugées trop froides pour engendrer une tempête tropicale. Suite à l'ouragan Vince, la tempête tropicale Delta s'est abattue sur les îles Canaries et l'île de Madère en novembre 2005, laissant derrière elle d'importants dégâts matériels, des pannes d'électricité et des victimes. Cependant, les scientifiques ne peuvent toujours pas se prononcer sur l'existence d'une relation de causalité entre de telles tempêtes et le changement climatique (WWF, 2006).

Tendances climatiques projetées en Méditerranée

Malgré l'incertitude au sujet des changements climatiques prévus à l'échelle régionale, une certaine cohérence parmi les différentes projections a été trouvée en Europe et dans l'ensemble du bassin méditerranéen, une région qui sera probablement plus fortement affectée par le changement climatique actuel que la plupart des autres régions du globe (McCarthy et al., 2001). En effet, toutes les régions de climat méditerranéen devraient subir une augmentation plus significative des températures et du niveau d'aridité par rapport à d'autres régions (McCarthy et al., 2001).

□ Température

Les résultats des scénarios climatiques sont plus cohérents pour les tendances des changements de température hivernale en Europe méridionale que pour

les tendances des changements de température estivale. Néanmoins, les évidences observées vont dans le sens d'un réchauffement climatique dans toute l'Europe, toutes saisons comprises. Kettunen et al. (2007) ont produit un résumé des projections de températures suivantes pour l'Europe d'après le rapport de synthèse 2001 du GIEC et le rapport sur les impacts du changement climatique en Europe (AEE, 2004)⁵:

- La température annuelle augmentera de 0,1 à 0,4°C par décennie en Europe. Les hausses de températures les plus importantes concerneront le sud de l'Europe.
- Le scénario de réchauffement estival démontre un fort gradient nord-sud : le taux de réchauffement pour le sud de l'Europe sera de 0,2 à 0,6°C par décennie, tandis que le taux de réchauffement pour le nord de l'Europe sera considérablement plus bas, c'est-à-dire de 0,08 à 0,3°C.
- Les hivers considérés froids deviendront plus rares d'ici à 2020 et disparaîtront presque entièrement d'ici 2080, alors que les étés chauds seront beaucoup plus fréquents.

D'après les résultats de deux scénarios de changement climatique pour la région méditerranéenne, Giannakopoulos et al. (2005) ont proposé le récapitulatif suivant des principaux impacts de l'évolution du climat :

- Les deux scénarios vont dans le sens d'une augmentation générale de la température moyenne journalière de 1 à 2°C par rapport aux conditions actuelles sur la côte française (inertie thermique maritime) et de 2 à 3°C sur le continent. La hausse moyenne est plus importante pour les températures maximales que pour les températures minimales, un fait qui semble particulièrement évident pour la péninsule ibérique.
- Les températures moyennes et maximales subiront une augmentation nettement plus importante durant l'été et sur le continent (jusqu'à 4°C), ainsi qu'une augmentation légèrement plus importante durant l'automne (2 à 3°C) et une augmentation inférieure à 2°C durant l'hiver et le printemps.
- Le nombre de journées chaudes ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) et de journées estivales ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) augmentera également de façon différente selon les sous-régions : l'augmentation la plus marquée se produira sur le continent, soit un mois supplémentaire de journées chaudes et un mois supplémentaire de journées estivales ; le Moyen Orient et les zones côtières ibériques

5 Consulter le site Internet : http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en

verront une augmentation légèrement plus marquée, soit 1 à 3 semaines additionnelles de journées chaudes et 2 à 3 semaines additionnelles de journées estivales ; les zones côtières centrales ne connaîtront qu'un mois supplémentaire de journées estivales et 2 semaines de vagues de chaleur supplémentaires sont prévues pour les îles de Chypre, de Corse et de Sardaigne.

- Le nombre de nuits de gel ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) chutera de 1 à 2 semaines sur la côte et d'un mois sur le continent, alors que le nombre de nuits très froides ($T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$) aura tendance à baisser légèrement. Le sud-est de la région pourrait connaître une baisse de 50 % de son nombre de journées les plus froides.
- En ce qui concerne les températures, les régions les plus chaudes seront la Turquie, les Balkans, la péninsule ibérique, le nord de l'Italie et le Maghreb ; les régions les plus fraîches seront la Chypre, la Sicile et la Sardaigne.

□ Précipitations

Malgré les différences considérables entre les modèles de projection pour ce qui est des changements observés au niveau des précipitations, le rapport sur les impacts du changement climatique en Europe (AEE, 2004)⁶ prévoit une diminution du taux de précipitations annuel pouvant atteindre 1 % et une diminution du taux de précipitations en été pouvant atteindre 5 % par décennie dans le sud de l'Europe. L'hiver risque de devenir plus humide en Europe, sauf dans les Balkans et en Turquie, où les hivers deviendront plus secs (Kettunen et al., 2007).

Les deux scénarios étudiés par Giannakopoulos et al. (2005) révèlent des projections contradictoires en ce qui concerne la hauteur de précipitations :

- L'un des scénarios semble prévoir une légère intensité des précipitations annuelles dans la portion septentrionale de la région, alors que l'autre prédit une baisse de 0 à 10 % ; dans la portion méridionale de la région, ainsi qu'en Espagne, une baisse du niveau de précipitations de 0 à 20 % pourrait être enregistrée selon les deux scénarios.
- Les précipitations estivales risquent de diminuer, sauf dans la portion sud-est de la région (y compris le sud de la Turquie), où une légère augmentation est prévue.

6 Consulter le site Internet : http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en

- Une légère diminution, ou aucun changement ne sont prévus dans les précipitations durant les autres saisons, sauf dans la portion septentrionale de la région, où les précipitations hivernales semblent augmenter, ainsi que dans le sud-est de la région, où les mesures de la hauteur de précipitation hivernale indiquent une diminution probable.
- Une augmentation du nombre de journées sèches ($PP < 0,5$ mm) est prévue presque partout, à savoir un mois supplémentaire de journées sèches dans la péninsule ibérique, 3 semaines sur le continent (sud de la France, Balkans, Turquie et Italie), 2 à 3 semaines au Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie), environ 2 semaines le long de la côte et seulement quelques jours de plus au Moyen-Orient, en Libye et en Égypte ; une légère baisse du nombre de journées sèches devrait être enregistrée en Chypre.
- L'intensité des précipitations avec des journées très pluvieuses augmentera dans la portion septentrionale de la région (sud de la France, Italie, ouest de la Grèce et nord de la péninsule ibérique), mais elle aura tendance à diminuer dans la portion méridionale de la région.

Malgré les incertitudes considérables en ce qui concerne les changements observés au niveau des précipitations, une augmentation importante des déficits en eau est prévue. Cette dernière résulterait davantage de la hausse des températures que de la réduction des précipitations (Ohlemüller et al., 2006).

□ Phénomènes climatiques extrêmes

De nombreux experts conviennent que les phénomènes climatiques extrêmes constituent probablement les forces motrices les plus importantes des changements se produisant au niveau des écosystèmes (Lindner, 2006). Kettunen et al. (2007) ont fourni le récapitulatif suivant des prédictions climatiques pour l'Europe :

- Il est très probable que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur estivales augmentent partout en Europe et en Méditerranée.
- Les phénomènes de précipitations intenses augmenteront en fréquence, particulièrement durant l'hiver.
- Le risque de sécheresse estivale augmentera dans le sud de l'Europe.

Giannakopoulos et al. (2005) prévoient les changements suivants :

- 3 à 5 semaines supplémentaires de vagues de chaleur en Espagne, au Moyen-Orient, en Turquie, dans les Balkans, en Afrique du Nord et au nord de l'Italie, 4 semaines de plus pour les îles du nord de la Mer Égée, et une

influence modérée, ou aucun changement significatif, sur le reste des îles, au sud de l'Italie et en Péloponnèse.

- Les périodes de sécheresse longues devraient être plus fréquentes, avec une augmentation de 2 à 4 semaines pour le sud de l'Italie, en Péloponnèse, dans la partie sud de la péninsule ibérique, au Maroc et en Libye, alors que pour la portion orientale de la région, ainsi qu'en Algérie, aucun changement n'est anticipé. Un prolongement de la saison sèche d'environ 3 semaines vers le printemps est prévu dans le sud de la France et au centre de l'Espagne, alors qu'un déplacement général vers l'automne d'environ 2 à 4 semaines est prévu pour les portions centrales et orientales de la région, alors qu'aucun changement n'est prévu pour le sud de l'Italie et la Sicile. Des scénarios peu congruents ont émergé pour le sud de l'Espagne, le Maghreb et la Grèce continentale.

3 | Que pouvons-nous apprendre des périodes antérieures de changement climatique afin de répondre aux changements à venir ?

Les études portant sur les impacts des périodes antérieures de changement climatique sur la diversité biologique constituent l'une des sources de données les plus sûres en terme de validation des conséquences écologiques et évolutives des modèles de prévision des changements futurs (Petit et al., 2005). Les plantes sont représentées en grand nombre au sein des vestiges paléolithiques et constituent donc des données de haute valeur permettant l'analyse des évolutions climatiques antérieures.

Les conditions climatiques terrestres n'ont jamais cessé d'évoluer au cours du temps. Des indications précises confirment qu'un climat plus chaud existait jusqu'à il y a environ 3 millions d'années, caractérisé par une étendue des glaces nettement réduite sur toute la surface du globe et un niveau de la mer plus élevé (Solomon et al., 2007). Depuis le début de l'ère quaternaire, il y a 2 millions d'années, seules quelques périodes semblent avoir été aussi chaudes que la présente (et probablement plus chaudes) (c'est-à-dire la dernière période interglaciaire, il y a de cela 125 000 ans). Par conséquent, le réchauffement anthropique actuel pourrait être le plus chaud jamais observé durant l'ère quaternaire. En outre, soulignons les facteurs suivants qui pourraient influencer négativement la réaction des végétaux aux variations du climat :

- Les conditions environnementales ont nettement évolué, principalement en raison de l'altération humaine des paysages (fragmentation et dégradation intenses d'habitats jusqu'alors intacts) qui a entraîné une aggravation des conditions xériques et une réduction de la capacité d'adaptation des écosystèmes (conditions microclimatiques minimisant l'impact de l'environnement externe) et créé de nouveaux obstacles à la dispersion. Ces facteurs aggraveront les conséquences du réchauffement climatique sur la nature.
- La grande rapidité du taux de réchauffement présent, très probablement sans précédent, pourrait influencer la capacité d'adaptation des espèces et des écosystèmes.

Migration des espèces en réponse aux périodes antérieures de changement climatique

Les études de pollen démontrent une réponse nette et rapide (0-20 ans) de la végétation terrestre aux variations climatiques antérieures, à savoir la disparition soudaine de nombreuses espèces, accompagnée de la prolifération rapide d'autres espèces. En ce qui concerne la capacité migratoire des espèces arborescentes, des informations relatives aux périodes antérieures de changement climatique indiquent que les arbres se sont rapidement dispersés peu après la période glaciaire à une vitesse de migration particulièrement rapide (entre 150-500 m/an et des vitesses exceptionnelles de 2000 m/an enregistrées pour l'*Alnus* spp. (Huntley, 1991 ; Clark, 1998). Ohlemüller et al. (2006) prédisent dans leurs scénarios sur les risques associés au changement climatique pour l'Europe de l'an 2100 que les espèces d'arbres seraient contraintes de migrer entre 1 400 m/an et 3 800 m/an dans certaines régions, un taux migratoire nettement supérieur à ceux définis pour la plupart des essences forestières européennes en période post-glaciaire. Ceci pourrait entraver la dispersion des essences forestières, du moins pour les espèces ne pouvant tolérer des changements de température de plus de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Néanmoins, la rapidité de dispersion pourrait être surestimée par les méthodes traditionnelles d'interprétation des quelques études effectuées sur le pollen à partir desquelles des projections ont été formulées pour de vastes étendues. De nouveaux éléments probants au niveau des fossiles et de la génétique moléculaire démontrent que les populations de la période glaciaire pour un grand nombre d'espèces étaient plus importantes et distribuées de façon étendue à des latitudes différentes (Illustration 1) ; par conséquent, les distances de migration auraient pu être beaucoup plus courtes qu'on ne le croyait auparavant (Clark et al., 2003 ; McLachlan et al., 2005). La grande hétérogénéité des paysages méditerranéens, où une gamme variée de conditions environnementales ainsi qu'un grand nombre d'espèces arborescentes et d'habitats aux caractéristiques bioclimatiques optimales sont représentés au sein d'une très petite superficie, pourrait considérablement favoriser la réduction des exigences en matière de distance de dispersion.

En effet, une fraction considérable des territoires méditerranéens est formée de reliefs hétérogènes complexes où l'on pourrait s'attendre à une réorganisation *in situ* de la plupart des espèces présentes dans le paysage et où les interactions multisécifiques et les différents mécanismes de succession (facilitation, tolérance et inhibition) engendreront des changements dans la prépondérance/abondance des différentes essences et communautés arborescentes. Les espèces d'arbres poussant à des altitudes élevées (les essences résineuses oroméditerranéennes, par exemple) seraient particulièrement contraintes à

se disperser sur de longues distances, ce qui deviendrait impossible sans intervention humaine. Néanmoins, la dispersion verticale des espèces arborescentes oroméditerranéennes pourrait être favorisée car la limite forestière actuelle apparaît à une altitude plus basse (jusqu'à 300 m) que la limite forestière potentielle, fait attribuable aux pratiques historiques de pâturage en région montagneuse.



Illustration 1 : Refuges pour les taxons arborescents dans les péninsules méditerranéennes pendant la dernière période glaciaire (100-16 milliers d'années) (Par Willis & Niklas, 2004).

Si l'on accepte l'hypothèse de dispersion rapide des arbres fossiles, la propagation rapide d'espèces écologiquement semblables au sein d'un territoire donné durant les périodes antérieures de changement climatique a été jugée paradoxale par un certain nombre de chercheurs, notamment en ce qui concerne les espèces compétitrices rapprochées⁷ (Moorcroft et al., 2006). Les progrès réalisés durant la dernière décennie en matière de méthodes et de résultats paléobotaniques, ainsi que dans le domaine de la génétique, représentent des avancements importants dans notre compréhension des stratégies adoptées pas les essences forestières de dispersion rapide en réaction aux variations climatiques antérieures. Les théories suivantes nous permettent de comprendre la manière dont les espèces forestières migrent sur de longues distances dans un court laps de temps :

7 La règle étant que la dispersion des espèces colonisatrices sur un territoire où une espèce compétitrice est présente devrait être visiblement ralentie.

□ La théorie des « super-espèces »

Des études provenant du nord-ouest américain suggèrent qu'une colonisation rapide peut se produire lorsqu'une essence d'arbre colonisatrice échappe temporairement à des pathogènes spécifiques à l'hôte et se comporte telle une « super-espèce » jouissant d'un avantage compétitif transitoire sur les espèces autochtones. Les chercheurs expliquent de cette façon la propagation rapide du hêtre il y a de cela 3000-2500 ans BP dans le nord-ouest américain, suite au déclin rapide de la pruche du milieu à la fin de l'Holocène (une espèce compétitrice et autochtone au territoire en raison d'une propagation antérieure durant l'Holocène) lié à une prolifération de pathogènes forestiers (plusieurs auteurs, Moorcroft et al., 2006).

Or, il existe une différence significative entre la dispersion des espèces forestières en période post-glaciaire et les exigences de dispersion en réponse aux variations climatiques futures dans les territoires méditerranéens hautement hétérogènes et riches en espèces/habitats : les espèces forestières indigènes ne trouveront pas de territoires vides propres à la colonisation et les conditions préalables à leur transformation en « super-espèces » pourraient ne pas être réunies. Les changements dans les interactions entre espèces et dans les mécanismes de succession opèreront en parallèle avec les dynamiques des populations d'organismes pathogènes, ces derniers étant quasi-impossibles à prédire.

Dans une toute autre situation, les espèces forestières introduites évolueraient plus facilement vers des « super-espèces ». Tel est le cas d'un certain nombre d'espèces d'arbres exotiques dans toutes les régions biogéographiques du bassin méditerranéen (par exemple, *Pinus pinaster*, une espèce de l'ouest du bassin méditerranéen devenue espèce introduite très envahissante dans l'écorégion du Cap en Afrique du Sud). Ceci s'explique par une multiplicité de causes difficiles à comprendre, incluant, en outre, l'absence d'organismes pathogènes spécifiques à l'hôte. Que les changements climatiques facilitent ou non la propagation envahissante des espèces exotiques présentes dans la région, qui jusque là n'étaient pas prolifiques, constitue une problématique majeure pour la conservation, mais aussi une question fondamentale ouverte aux chercheurs.

□ La théorie des « changements brusques »

Dans certains cas, les données paléobotaniques de la région révèlent une situation opposée à la théorie précédente : la progression de certaines espèces du sud de l'Europe a été ralentie en comparaison avec la progression antérieure d'autres espèces écologiquement apparentées. Cet état de fait a souvent été expliqué par des facteurs tels la distance des zones refuges et la rapidité de dispersion des graines ; ces explications n'étaient pas

en accord avec le comportement migratoire des mêmes espèces en Europe du nord. Des analyses plus poussées portant sur les périodes antérieures de changement climatique ont finalement indiqué qu'un désavantage compétitif avait fait obstacle à la propagation de certaines espèces jusqu'à ce que des perturbations à grande échelle et l'impact anthropogène viennent favoriser leur progression rapide et les déplacements de l'aire de distribution des espèces. C'est le cas de la progression ralentie du noisetier (*Corylus avellana*) pendant l'Holocène dans le sud des Alpes (en comparaison avec la progression d'espèces forestières thermophiles similaires deux milliers d'années plus tôt), qui s'est produite il y a de cela 11 000-10 500 ans BP : les changements observés dans les fluctuations saisonnières du climat, à savoir des températures estivales plus élevées et une sécheresse saisonnière plus prononcée associée à une haute incidence d'incendies de forêts d'origine anthropogénique, ont favorisé la progression rapide du noisetier dans des zones de végétation ouverte (Finsinger et al., 2006). Cette théorie a été utilisée par plusieurs auteurs (par exemple, Carrion, 2003 ; Tinner et al., 2000 et 2005) afin d'expliquer la raison pour laquelle des changements brusques de la végétation durant les périodes antérieures de changement climatique, accompagnés d'une progression rapide des espèces xériques et d'une réduction significative ou de l'extinction d'espèces plus tempérées (Illustration 2).

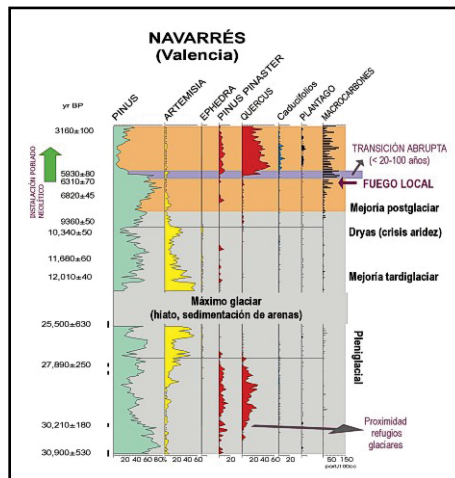


Illustration 2 : Série pollinique illustrant un incendie comme élément moteur de changements brusques de la végétation, il y a de cela ~ 6000 ans BP (Carrion, 2003).

Selon les données paléobotaniques, des territoires étendus de la région méditerranéenne sont maintenant occupés par des types de végétation plus xériques que ceux présents avant l'avènement d'une suite de perturbations humaines préhistoriques ayant entraîné l'altération rapide du territoire. Ceci est particulièrement pertinent si l'on considère les tendances actuelles du changement climatique, pour deux raisons contraires :

- D'une part, la survenance, durant la dernière décennie, de perturbations à grande échelle plus fréquentes et plus intenses (incendies de forêts incontrôlés, par exemple) pourrait causer des changements brusques vers des types de végétation plus xériques, entraînant des conséquences socio-économiques et écologiques imprévisibles.
- D'autre part, selon un scénario d'aménagement durable du territoire, les caractéristiques plus xériques de la végétation lui permettraient de résister davantage à des changements climatiques plus variés.

□ **La théorie des « événements de dispersion rares de longue distance »**

Les archives paléoenvironnementales mettent en évidence des événements de dispersion de longue distance d'espèces arborescentes en réponse au réchauffement climatique de la fin de la dernière période glaciaire. Les auteurs expliquent que parallèlement aux taux normaux de dispersion de certaines espèces, des événements de dispersion rares de longue distance se produisent de façon sporadique (par exemple, la dispersion des graines par anémochorie suite à des tempêtes exceptionnelles, des ouragans, etc. ; la dispersion des graines par zoochorie suite à des mouvements exceptionnels de longue distance d'espèces de mammifères et/ou d'oiseaux). Ces événements de dispersion rares entraînent l'apparition d'îlots de populations isolées, suivie d'une phase de repos pendant laquelle très peu de changements sont observables au niveau de l'aire de distribution, puis d'une phase active de progression explosive (Overpeck et al., 2003).

Les chercheurs devraient mettre en place des systèmes de surveillance des événements de dispersion rares de longue distance afin d'acquérir une meilleure compréhension globale des mécanismes de dispersion des essences forestières méditerranéennes. En outre, les aménagistes et les gestionnaires pourraient imiter cet autre système de dispersion en définissant des petites populations d'espèces et en assurant leur surveillance sur des territoires intermédiaires clés reliant les populations distantes.

Nous manquons de connaissances en ce qui concerne les impacts futurs du changement climatique à l'échelle régionale/territoriale. De plus, la complexité des mécanismes de cause à effet et les interactions entre les variations climatiques et les réactions de la végétation rendent toute prédiction très

incertaine. Pour certains auteurs, le réchauffement global prévu pourrait engendrer la disparition, la dispersion et l'invasion rapide d'espèces forestières (Tinner & Lotter, 2001). Selon eux, la vitesse de migration des espèces pourrait ne pas être suffisante pour pallier aux exigences de dispersion résultant du taux de réchauffement prévu, ce, malgré les indications paléobotaniques selon lesquelles plusieurs genres d'arbres migrent à une vitesse élevée (>100 m/an). D'autre part, de nombreux auteurs soulignent le fait que les projections de changement climatique sur le déplacement des aires de distribution et/ou l'extinction des espèces sont le résultat de modèles hautement simplifiés spécifiques aux espèces, et devraient, par conséquent, être interprétés avec prudence. Une étude très détaillée des faiblesses et des défis liés aux modèles mathématiques dans la prédiction des impacts futurs du changement climatique sur les écosystèmes a été entreprise par Midgley et al. (2007). Des projections climatiques incertaines à l'échelle régionale/territoriale, ainsi que des modèles de projection qui n'incluent pas les problèmes cruciaux (par exemple, l'hétérogénéité territoriale, les interactions des espèces avec l'homme, les relations entre le climat et les espèces, la compétition interspécifique ainsi que les aspects dynamiques de la migration) risquent d'engendrer des erreurs importantes et la surestimation des besoins migratoires des espèces au sein des territoires et entre les régions.

Adaptation *in situ* des espèces aux périodes antérieures de changement climatique

Les analyses des périodes antérieures de changement climatique nous procurent également des informations précieuses sur les facultés de résistance *in situ* démontrées par certaines espèces soumises à des conditions défavorables et imprévisibles. Tel semble être le cas pour les végétaux adaptés à des conditions environnementales extrêmes, telles le climat méditerranéen. Des études entreprises en région méditerranéenne démontrent que la flore arborescente actuelle est composée d'anciens taxons très résistants ayant déjà subi plusieurs changements climatiques brusques et intenses dans le passé (Petit et al., 2005) et qui sont en mesure de maintenir des niveaux de population très stables durant les périodes de changement climatique. En outre, les espèces d'arbres et d'arbustes tempérées dont la limite méridionale d'aire de distribution se situe dans le bassin méditerranéen conservent la majorité de leur diversité génétique dans les populations situées à la limite sud de leur aire de distribution, bien que celles-ci ne représentent qu'un faible pourcentage de leur aire de distribution totale. Par conséquent, selon un scénario de changement climatique, la grande stabilité et diversité génétique caractérisant les nombreux peuplements reliques d'arbres à la limite méridionale de leur aire de distribution (« rear-edge » populations), dispersés le long des montagnes méditerranéennes et des territoires hétérogènes, sont extrêmement importants pour le développement de stratégies de conservation *in-situ*. Ces dernières ne devraient pas être sous-évaluées en faveur des stratégies « leading-edge populations » ciblant les

déplacements prévus des populations vers le nord et les plus hautes latitudes (translocation de populations d'espèces).

Une autre étude sur la migration et la réponse adaptative chez les plantes ligneuses du Grand Bassin suite aux changements du Pléistocène/Holocène (Nowak et al., 1994) démontre l'existence d'espèces à haut degré de variation génétique leur accordant un niveau de résistance *in-situ* durant les périodes de changement climatique en faisant appel à la sélection locale de génotypes pré-adaptés (espèces « orthosélectives », c.-à-d. espèces dont les aires de distribution sont relativement invulnérables au changement climatique). Bien que la plasticité adaptative des espèces soit une question complexe et particulière à chaque espèce, il est clair que la faculté de résistance des espèces mérite une attention particulière dans le contexte de stratégies adaptatives de gestion et de conservation, puisque les réponses d'adaptation *in-situ* au réchauffement climatique semblent jouer un rôle important pour certaines espèces.

□ Réponses des espèces suite aux variations antérieures des concentrations de CO₂

Des études antérieures portant sur les changements climatiques nous fournissent également des données très précieuses sur les effets des variations des concentrations de CO₂ atmosphériques sur la végétation. Des analyses provenant de la région méditerranéenne mettent en évidence une adaptation des espèces arborescentes aux variations des concentrations de CO₂ paléoclimatiques. Ces changements incluent principalement une réduction de l'indice stomatique (proportion de cellules stomatiques par rapport aux cellules épidermiques) et une augmentation de la taille des stomates proportionnelle à l'augmentation de la concentration de CO₂ (Garcia-Amorena, 2007). Ceci pourrait constituer un cheminement adaptatif pour les forêts méditerranéennes, réduisant la transpiration forestière (moins de stomates par unité de surface foliaire) tout en maintenant l'activité photosynthétique (larges pores) et la productivité. Néanmoins, cette caractéristique demeure sujette à des controverses, notamment si l'on considère que les changements stomatiques cessent lorsqu'un certain seuil d'augmentation de concentration atmosphérique de CO₂ est atteint (Garcia-Amorena, 2007).

□ Commentaires finaux utiles à l'adaptation de la conservation et de la gestion des forêts

Les implications pour l'aménagement découlant des théories contraires au sujet des exigences spécifiques et des mécanismes de réponse aux migrations de longue distance, ainsi que les possibilités de préservation *in-situ* dans les zones de refuge des paysages méditerranéens, pourraient être très différentes. Ces dernières vont du besoin potentiel de translocation des espèces possédant de faibles facultés de dispersion au besoin d'identifier, de restaurer et d'aménager avec soin les populations isolées existant à l'extérieur de l'aire centrale de

distribution d'une espèce (Pearson et al., 2005) et les unités territoriales très hétérogènes possédant de meilleures chances de réorganisation *in-situ* pour d'importants groupes d'espèces.

Malgré une accélération prévue des variations climatiques dans un avenir proche, les stratégies et les réactions adoptées par les différentes espèces forestières au cours des périodes antérieures de changement climatique (durant lesquelles de courts épisodes de changement climatique brusque et des perturbations à grande échelle se sont également produits) nous aident à mieux comprendre la dynamique de la végétation des forêts méditerranéennes et nous permettent de planifier des stratégies adaptatives moins incertaines et moins risquées pour faire face aux conditions climatiques futurs.

4 Impacts actuels et prévus du changement climatique sur les forêts méditerranéennes

Le changement climatique, aggravé par des pratiques de gestion et d'utilisation des sols inadaptés (par exemple, des changements rapides et non durables au niveau de l'affectation des terres, l'abandon rural et la surexploitation des ressources naturelles), risque d'accroître la fréquence et l'intensité des éclosions et dispersion de pathogènes, d'incendies incontrôlables et d'autres perturbations à grande échelle. Tout ceci pourrait contribuer à :

- La réduction de la superficie boisée au sein du bassin méditerranéen. Celle-ci sera remplacée par des communautés d'arbustes sujets aux incendies.
- Une plus grande fragmentation du paysage qui, par conséquent, nuira aux chances de migration/dispersion de nombreuses espèces menacées d'extinction.
- La réduction du taux de croissance annuel des arbres et par conséquent du revenu généré par les forêts.

Changements écologiques

Les changements écologiques au niveau des aires de distribution, de la phénologie et des interactions entre espèces se produisent dans tous les groupes marins, d'eau douce et terrestres. Ces changements écologiques sont fortement biaisés dans le sens prévu par le réchauffement climatique et ont été liés au changement climatique local ou régional (Parmesan, 2006).

Pour certaines espèces et régions européennes, la perte anticipée de territoires au climat favorable par les scénarios de changement climatique est susceptible de mener à la disparition d'habitats et d'écosystèmes (Saxon et al., 2005), ainsi qu'à l'extinction d'espèces de faune et de flore (Bakkenes et al., 2002 ; Thomas et al., 2004 ; Thuiller et al., 2005)⁸. Le risque de perte de la biodiversité pourrait s'accroître si les territoires résiduels futurs ayant des caractéristiques climatiques

8 Ces références proviennent d'Ohlemüller et al., 2006.

favorables à de nombreuses espèces se trouvaient très loin de leur présente aire de distribution, causant un problème supplémentaire aux espèces moins mobiles (Ohlemüller et al., 2006). Tel que mentionné plus haut, nous devons faire preuve de prudence en ce qui concerne l'interprétation de ces prédictions étant donné les incertitudes générées par les modèles spécifiques aux espèces et hautement simplifiés sur lesquels de telles prédictions reposent, ainsi que du haut degré d'hétérogénéité des territoires méditerranéens où les espèces arborescentes peuvent rencontrer des conditions climatiques favorables à proximité.

□ Déplacements des aires de distribution des espèces et des limites des écosystèmes

Les déplacements des espèces végétales et de la distribution des biomes en réponse au réchauffement ont été décrits au cours de périodes antérieures de changement climatique. Les observations portant sur les déplacements des aires de distribution parallèlement au changement climatique continu sont nombreuses, particulièrement en Europe du nord, où des notes d'observation pour plusieurs espèces d'oiseaux, de papillons et de plantes ont été transcrites depuis le milieu des années 1700 (Parmesan, 2006). Des preuves de l'influence du changement climatique sur les aires de distribution des espèces et sur les limites des écosystèmes ont également été observées au niveau de la végétation méditerranéenne, malgré la singularité des preuves fournies :

- Les bandes altitudinales des zones biotiques semblent avoir subi un déplacement ascendant. Par conséquent, des conditions climatiques plus sèches et plus chaudes caractérisent des territoires dont le climat était autrefois plus froid et plus humide :
 - a) Le déplacement ascendant et vers le nord d'espèces sahariennes telles que *Fredolia aretioides* et *Zilla macroptera* dans les régions de basse montagne du Haut Atlas et de la partie est du Moyen Atlas (Medail & Quezel, 2003).
 - b) Le déplacement de 200 m en amont des pins d'Alep dans les montagnes du sud de la France (par exemple, le massif de la Sainte-Baume) qui occupent l'aire de distribution en basse altitude des forêts de pins sylvestres. Dans cette zone écotonale, le pin sylvestre se distingue par un taux de croissance ralenti et a subi un dépérissement terminal durant la période de sécheresse extrême de 2003 (Vennetier et al., 2005).

- c) Depuis 1945, un remplacement progressif des écosystèmes froids tempérés par des écosystèmes méditerranéens dans la chaîne de montagnes de Montseny (Catalogne, nord-est de l'Espagne) a été observé. Les forêts de hêtres (*Fagus sylvatica*) se sont déplacées d'environ 70 m en amont aux altitudes les plus hautes (1 600 à 1 700 m). Les forêts de hêtres et les landes de bruyères (*Calluna vulgaris*) sont remplacées par le chêne vert (*Quercus ilex*) à moyenne altitude (800 à 1 400 m). Le remplacement se produit suite à l'isolement progressif et à la dégradation des peuplements de hêtres (par exemple, les hêtres ont subi une défoliation 30 % plus sévère et leur taux de recrutement est 41 % plus bas) entourés de peuplements de chênes verts en pleine expansion, où le taux de recrutement des arbres est trois fois plus élevé que pour les peuplements de hêtres. Les conditions climatiques de plus en plus chaudes associées aux changements en matière d'utilisation des sols (notamment l'abandon des méthodes traditionnelles d'aménagement du territoire) en sont les causes apparentes et nous procurent un exemple paradigmatique du changement global affectant la distribution des espèces végétales et des biomes (Peñuelas & Boada, 2003).
- d) La limite forestière et la répartition altitudinale des espèces alpines en Europe se déplacent en altitude (Walther et al., 2002)⁹. Cependant, du moins pour les arbres, les déplacements ascendants doivent être rigoureusement analysés car ils pourraient être associés aux changements récents en matière d'utilisation des sols, à savoir l'abandon des pâturages de haute montagne ainsi que leur recolonisation par la végétation forestière qui ont permis de rétablir la limite forestière naturelle existant avant l'intervention de l'être humain (jusqu'à 300 m plus élevée que la limite forestière actuelle).
- e) Les aires de distribution géographiques de nombreuses espèces se sont déplacées vers les pôles, ainsi qu'en amont, en réponse au réchauffement climatique. Ceci a entraîné une hausse de la richesse spécifique à haute latitude et en altitude. Toutefois, peu d'études ont examiné les réactions au changement climatique à l'échelle de la communauté sur tous les gradients altitudinaux des chaînes montagneuses ou à des latitudes basses et chaudes où une baisse de la diversité écologique est attendue. Des déplacements en amont de la richesse et de la composition spécifiques chez les papillons de la Sierra de Guadarrama (centre de l'Espagne) ont été observés entre 1967 et 1973 et 2004 et 2005. Des

9 Références incluses dans la bibliographie de H. Reid, 2006.

communautés de papillons aux caractéristiques spécifiques similaires se sont déplacées de 293 m en amont (\pm SE 26), ce qui coïncide avec un déplacement ascendant d'environ 225 m des isothermes annuels moyens. Les changements relatifs à la richesse et à la composition spécifiques traduisent principalement la perte d'espèces à basse élévation dont les aires régionales de distribution se limitent aux régions montagneuses. Une perte nette au niveau de la richesse spécifique a été observée sur environ 90 % de la région, suite à la domination croissante des communautés par des espèces plus répandues. Les résultats révèlent que le réchauffement climatique, combiné à la perte d'habitat et à d'autres facteurs du changement biologique, pourrait mener à un déclin important de la diversité écologique en montagne et dans les autres régions où les espèces se trouvent à la limite méridionale de leur aire de distribution latitudinale (Wilson et al., 2007).

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération afin de comprendre les conséquences de la migration des espèces et des mesures de conservation :

- Les aires de distribution des espèces s'étendent souvent suite à un déplacement altitudinal ou latitudinal ascendant de la limite supérieure de leur aire de distribution (alors que la limite inférieure demeure généralement la même). Ceci constitue un facteur important requérant un suivi rigoureux car il pourrait représenter un effet positif du changement climatique ou simplement un délai dans le temps de réponse d'une espèce lors de son retrait de la limite inférieure de son aire de distribution.
- L'utilisation de la limite forestière comme indicateur de changement climatique doit être effectuée avec prudence : bien que les limites forestières soient considérées comme étant contrôlées thermiquement, les facteurs historiques (par exemple, la conversion des forêts de haute montagne en pâturages) et biotiques (par exemple, une augmentation de l'activité herbivore causée par l'extinction de la plupart des prédateurs naturels) sont susceptibles d'affecter notre interprétation des effets du changement climatique sur le déplacement ascendant des espèces arborescentes, entraînant ainsi une augmentation ou une réduction apparente des impacts prévus du changement climatique (Cairns & Moen, 2004).
- Les aires actuelles de distribution des espèces pourraient être extrêmement différentes de l'enveloppe climatique potentielle des espèces. Ceci sous-entendrait qu'un certain nombre d'espèces possèderaient une plus grande capacité d'adaptation *in situ* au changement climatique avant d'atteindre le seuil migratoire.

□ Migration des espèces

La capacité migratoire dépend du niveau de production de graines de chaque espèce, ainsi que des stratégies de leur dispersion. Néanmoins, il est assez difficile de prévoir la distance de parcours des graines, puisqu'elle dépend d'une grande variété de processus (Higgins et al., 2003).

Nos connaissances limitées du taux de migration potentiel des espèces limitent notre habilité actuelle à prévoir les impacts du changement climatique sur la distribution géographique future des espèces, sur la taille de leurs aires de distribution, et même sur leur menace potentielle d'extinction (Midgley et al., 2007). La migration des plantes constitue une incertitude majeure en ce qui concerne la prédiction de la réaction de la végétation au changement climatique, pour plusieurs raisons (Midgley et al., 2007) :

- Les aires de distribution actuelles des espèces pourraient dépendre de facteurs autres que le climat, tels les régimes de perturbation, les dégradations anthropiques et/ou les interactions importantes entre les espèces.
- La dynamique de changement des aires de distribution des essences forestières arborescentes peut difficilement être prédite en raison des délais impartis dans le taux de mortalité adulte, ainsi que des mécanismes autorégulateurs des peuplements forestiers (c'est-à-dire les conditions microclimatiques à l'intérieur des peuplements forestiers matures) qui pourraient freiner la contraction des aires de distribution.
- L'influence contradictoire de l'être humain qui pourrait d'une part constituer un obstacle et un filtre à la dispersion, empêchant ou ralentissant les taux migratoires, et d'autre part accélérer les taux de dispersion par l'introduction artificielle d'espèces.

□ Changements au niveau de la phénologie

Les changements phénologiques pourraient avoir de sérieuses répercussions sur les espèces forestières, notamment si l'apparition des espèces pollinisatrices ne correspond pas à la période de floraison. Les effets déjà observés sont les suivants :

- Comparé à 30 ans auparavant, le printemps est arrivé deux semaines plus tôt en Espagne et s'est prolongé de 23 journées chaudes (par exemple, les amandiers fleurissaient vers la fin février/mars, mais fleurissent désormais dès la fin janvier).

- Les changements du niveau de précipitations et de la disponibilité de l'eau constituent un indicateur clé à l'origine de bouleversements phénologiques importants chez les espèces d'arbustes méditerranéens (par exemple, *Erica multiflora* et *Globularia alypum* en Catalogne) et de changements subséquents de la structure, de la composition et du fonctionnement de leurs peuplements (Peñuelas et al., 2003).
- Les changements phénologiques liés au réchauffement climatique pourraient réduire la capacité compétitive des espèces résineuses de montagne (par exemple, les différentes sous-espèces méditerranéennes de *Pinus nigra*) qui sont bien adaptées aux conditions climatiques extrêmes (par exemple, aux gelées tardives et aux températures hivernales basses), mais favoriser les espèces feuillues (par exemple, les espèces de chênes à feuilles caduques) qui pourraient prolonger leur période de croissance, autrefois limitée par les mois estivaux offrant peu d'eau en raison des gelées printanières et automnales).

□ Taux d'extinction

Le changement climatique entraînera non seulement un déplacement ascendant des bandes de végétation montagnaise, mais affectera également la compétition interspécifique en raison de la capacité migratoire et de la vitesse de chaque espèce. Les végétaux pourraient ne pas être en mesure de migrer assez

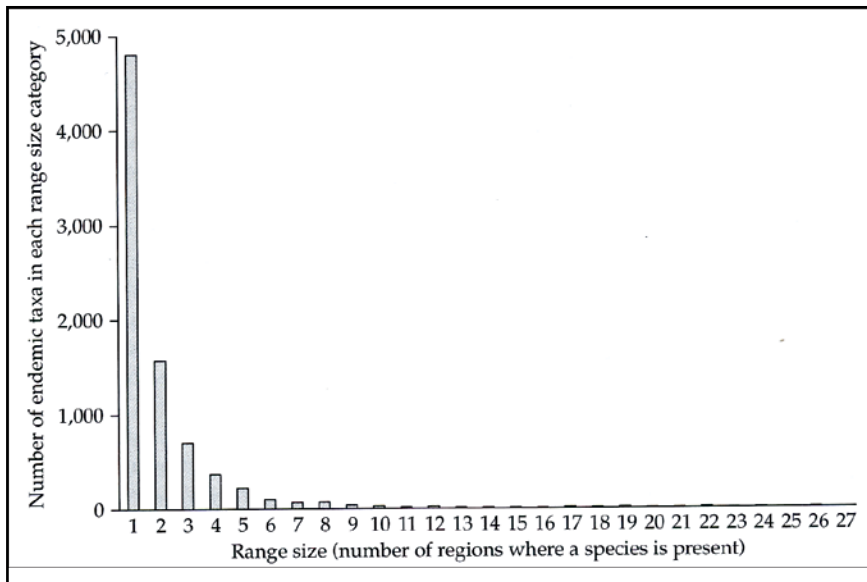


Illustration 3 : Prévalence des espèces végétales à distribution limitée en Méditerranée (source : Thompson, 2005)

rapidement. Leurs chances de migration seraient donc limitées par des facteurs tels le type de sol, la disponibilité de l'eau et les obstacles anthropogéniques à la migration (Beniston & Haeberli, 2001). En outre, il est possible que les chances de migration de nombreuses espèces soient limitées par la réduction de l'espace disponible pour les espèces dans les régions de haute montagne, ainsi que par l'absence de certaines exigences relatives à l'habitat. Tel pourrait être le cas de nombreuses espèces végétales endémiques à la Méditerranée dont les aires de distribution sont limitées, et qui représentent le groupe endémique régional le plus répandu et constituent la pierre d'assise de la biodiversité méditerranéenne, particulièrement en montagne et sur les îles (Thompson, 2005).

Plusieurs scénarios de changement global (Thuiller et al., 2004) s'accordent sur le fait que l'évolution climatique dans les montagnes méditerranéennes pourrait augmenter le risque d'extinction grave d'espèces/de communautés de plantes de haute montagne et engendrer le déclin significatif de la diversité biologique en raison de problèmes migratoires et de compétition interspécifique. Thuiller et al. (2004) ont prédit la disparition de nombreuses régions montagneuses européennes, y compris des régions méditerranéennes importantes (les Pyrénées centrales, le Système central, le Système ibérique, les monts de Tolède et les monts Bétiques en Espagne ; les Cévennes françaises, la Corse et les Alpes Maritimes ; les Apennins du Nord et du Centre, le nord de la Sardaigne, l'Etna en Sicile et les monts Nébrodes en Italie ; les Alpes Dinariques dans les Balkans ; la chaîne de montagnes du Pinde en Grèce). Ceci affectera plusieurs espèces endémiques dans chacune des principales chaînes montagneuses de la Méditerranée. Selon Ohlemüller et al. (2006), la majorité des régions montagneuses de la portion méditerranéenne de l'Europe risque de perdre sa diversité biologique. Les auteurs font particulièrement référence à la flore et à la faune des chaînes montagneuses de l'Ibérie du nord et de l'Ibérie centrale qui, selon les prédictions, se caractériseront ultérieurement par des conditions climatiques uniques en Europe. Thuiller et al. (2004) ont prévu une extinction moins sévère des espèces dans les portions les plus méridionales de la Méditerranée qui se caractérisent par la présence d'espèces bien adaptées à la chaleur et à la sécheresse. Ces espèces pourraient donc résister aux conditions climatiques à venir. Ohlemüller et al. parviennent à des conclusions similaires (2006) pour le sud et le sud-est de l'Europe qui connaîtront probablement des conditions climatiques semblables à celles d'aujourd'hui.

Des recherches plus approfondies sont nécessaires afin de déterminer quels événements ont causé le plus grand nombre d'extinctions d'espèces arborescentes dans le passé (Petit et al., 2005). Les résultats obtenus lors de diverses analyses sont quelque peu équivoques en ce qui concerne la réaction des taxons arborescents au climat, particulièrement au sujet des précipitations.

Un certain nombre d'études paléobotaniques lient les changements de circulation atmosphérique et le régime de précipitation à l'extinction ou à la réduction drastique des peuplements d'espèces d'arbres (par exemple, par le passé, la présence puis l'extinction de *Pinus pinaster* le long de la côte portugaise, ou d'*Abies alba* dans le sud des Alpes). Malheureusement, notre niveau de compréhension des précipitations est insuffisant pour les scénarios de changement climatique. Une question connexe concerne le niveau d'inertie au changement global existant dans les écosystèmes méditerranéens (Petit et al., 2005) ; des résultats contradictoires ont été obtenus suite à différentes analyses.

□ Changements métaboliques et physiologiques

Les changements physiologiques résultant d'un climat variable sont liés aux processus cellulaires contrôlant l'utilisation et l'échange de la matière et de l'énergie. Selon des études en laboratoire, des changements au niveau du régime des précipitations, des températures et des concentrations de CO₂ atmosphérique peuvent modifier ces processus de façon significative. Bien que les réponses dépendent de l'espèce étudiée, en règle générale toutes les espèces végétales subiront des changements métaboliques et physiologiques suite au changement climatique. Ces changements se produiront à court terme (changements au niveau de la productivité et de l'évapotranspiration) et à long terme (modifications au niveau des réservoirs de nutriments et apparition de nouvelles espèces de plantes adaptées aux nouvelles conditions) (Robledo & Forner, 2005).

□ Dynamique du carbone

La photosynthèse et la respiration représentent les flux les plus importants vers et en provenance de la biosphère (Molles, 1999). Les flux de carbone terrestres comptent pour plus de la moitié du carbone transmis entre l'atmosphère et la surface de la terre (environ 120 gigatonnes par an) (Breshears et al., 2001). Les réservoirs de carbone du sol jouent un rôle important dans le stockage du carbone atmosphérique tout en améliorant la productivité du site (par exemple, la rétention de l'eau et la fertilité des sols). Même si les réservoirs de carbone du sol ont été grandement appauvris en raison de la surexploitation et de la dégradation des terres au cours du siècle dernier, des pratiques adaptées d'aménagement du territoire associées au changement climatique pourraient accroître le réservoir de carbone du sol tout en atténuant le risque de perte de carbone causé par les événements extrêmes liés au changement climatique (par exemple, l'érosion du sol due à des pluies torrentielles, les incendies de forêts et la perte de couvert végétal attribuables à la sécheresse).

Incendies de forêts à grande échelle

Les incendies de forêts sont indissociables du paysage méditerranéen et représentent une des perturbations les plus importantes subies par la végétation

dans cette région. Cependant, des millénaires de transformation anthropogénique de la végétation méditerranéenne ont modifié la dynamique naturelle des incendies de forêts. De plus, pour de nombreuses espèces méditerranéennes, il est difficile de déterminer si les incendies ou toute autre perturbation d'origine anthropogénique ont joué le rôle de forces sélectives majeures dans leur adaptation environnementale :

- Dans le cas des essences résineuses xérophytes, telles le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), une « double stratégie » a été observée¹⁰, notamment en réaction aux incendies et aux périodes de sécheresse intense (Goubitz et al., 2004) :
 - a) Un très rapide et efficace colonisateur primaire après des incendies sauvages ou d'origine anthropogénique ;
 - b) Une espèce pionnière et envahissante à la capacité de régénération rapide en terrain non brûlé où des épisodes de sécheresse intense et des sols peu fertiles posent un obstacle majeur à la croissance des arbres.

Bien que les essences résineuses réagissent mieux aux sécheresses chaudes et froides (gel), elles épuisent les eaux souterraines plus rapidement que les essences feuillues.

- Dans le cas des essences feuillues à feuilles persistantes, telles l'arbousier (*Arbutus unedo*), une « stratégie double » peut également être observée, particulièrement en réaction aux incendies et au pacage intensif - une espèce qui rejette très bien suite à des incendies sauvages ou d'origine anthropogénique et au pacage intensif d'animaux sauvages ou domestiques.

Bien que les essences feuillues sempervirentes réagissent moins bien que les essences résineuses aux sécheresses chaudes et froides (problèmes au niveau du système circulatoire, mortalité cellulaire et perte de feuilles), elles contribuent davantage à la conservation de l'humidité du sol.

10 Plusieurs caractéristiques reproductives sont identifiées comme étant des adaptations aux incendies et à la sécheresse. Parmi celles-ci, la sérotonine joue un rôle important. La sérotonine est le procédé de rétention de graines matures dans une banque de graines entreposée dans la canopée, et dont la dispersion est retardée et synchrone – l'ouverture du cône et la libération des graines – lorsque les conditions deviennent optimales : incendie et climat extrêmement sec (Enright et al., 1998). Ce comportement est commun chez les diverses espèces de pins et quelques angiospermes de l'hémisphère sud (c'est-à-dire de l'Australie et de l'Afrique du Sud) poussant dans des écosystèmes sujets aux incendies.

Les écosystèmes adaptés aux incendies ont développé des mécanismes d'adaptation afin de résister au feu et aux nouvelles conditions environnementales qui surviennent pendant et suite à un incendie (Valdecantos, 2008). Néanmoins, si la période entre deux incendies consécutifs est trop courte pour permettre la production de graines fertiles ou rétablir la banque de graines du sol d'espèces ligneuses à reproduction sexuée obligatoire (par exemple, *Pinus spp.*, *Ulex parviflorus*, *Cistus spp.*, *Rosmarinus officinalis*), la remise en état de l'écosystème à l'état originel (pré-incendie) semble peu probable et les processus d'auto-succession sont bouleversés (Valdecantos, 2008).

Les changements au niveau du régime des incendies de forêts liés au réchauffement global (incendies à grande échelle ; plus haute périodicité des incendies sur un même territoire sur des années consécutives ou quelques années plus tard ; changements du caractère saisonnier des incendies de forêts avec des risques d'incendie hors période estivale) engendrent non seulement des problèmes majeurs au niveau environnemental (par exemple, la disparition de forêts et d'espèces, l'érosion des sols, des inondations) et socio-économique, mais également des changements au niveau des écosystèmes (par exemple, les essences sujettes aux incendies comme le pin d'Alep pourraient être négativement affectées par des incendies se déclarant durant la saison de maturation des cônes et par une fréquence accrue des incendies de forêts, entraînant une haute probabilité d'extinction des espèces sur le territoire concerné).

Selon l'index forêt-météo canadien (IFM), Giannakopoulos et al. (2005) ont projeté les changements suivants liés aux risques d'incendie en Méditerranée :

- De 2 à 6 semaines supplémentaires de risques d'incendie de forêts sont prévues partout sauf en Provence, au sud de l'Italie, en Sardaigne, au nord de la Tunisie et en Libye, où une semaine supplémentaire est prévue. En Égypte et sur la côte du Moyen-Orient, aucune aggravation des risques de feux de forêts n'est anticipée. Un risque accru d'incendie de 6 à 7 semaines supplémentaires est prévu pour le continent (le centre ouest de la péninsule ibérique, les montagnes de l'Atlas et les plateaux d'Afrique du nord, une grande partie de la Serbie, de la Bosnie-Herzégovine et le Monténégro dans les Balkans, ainsi que le nord-est de l'Italie), où une fraction significative de cette augmentation sera effectivement liée au risque extrême d'incendie de forêts. Une plus faible augmentation est prévue pour les régions côtières, dont le risque extrême d'incendie ne variera presque pas, sauf pour la péninsule ibérique, le Maroc, le nord de l'Italie et l'est de la côte adriatique.

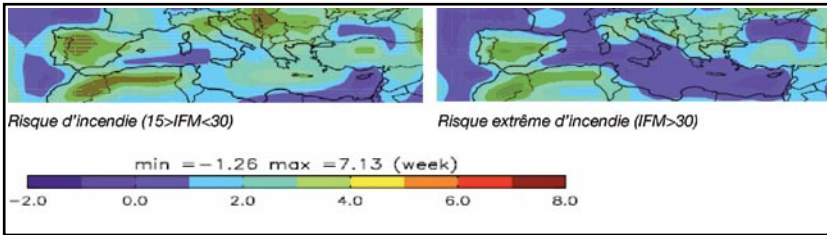


Illustration 4 (Giannakopoulos et al., 2005) : Augmentation du nombre de jours (en semaines) comportant un risque d'incendie

- L'augmentation maximale du risque d'incendie se produira en juillet et en août, particulièrement sur la portion centrale de la péninsule ibérique, au nord de l'Italie, dans les Balkans et en Anatolie centrale. Hormis la période estivale, l'accroissement du risque d'incendie est prévu en mai et en octobre pour la péninsule ibérique, le Maroc et l'Algérie, et seulement en mai au sud-est de la Turquie et en Syrie.

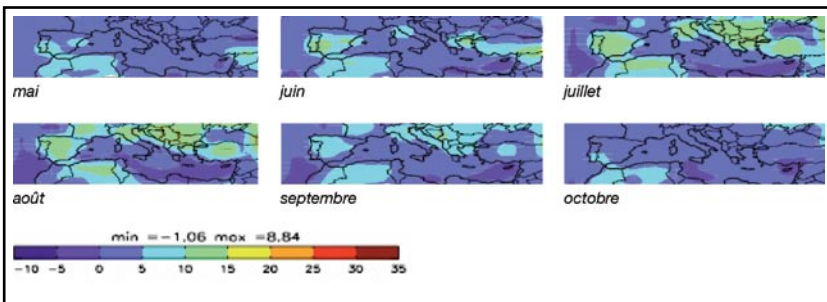


Illustration 5 (Giannakopoulos et al., 2005) : Variations mensuelles de l'IFM moyen de mai à octobre entre la période de référence (1961 à 90) et la période future (2030 à 60).

- Portugal : Des incendies de forêts liés à la vague de chaleur de 2003 a résulté une vaste superficie brûlée (environ 450 000 hectares), soit environ 13 % de la superficie totale du couvert boisé du pays.
- Israël (Pe'er G. & U.N. Safriël. 2000) : le retard des pluies hivernales augmentera les risques d'incendie de forêts, car la plupart des incendies se déclarent en automne, alors que la matière végétale sèche atteint son apogée. La fréquence, l'intensité et l'étendue des incendies augmenteront en raison de la baisse du taux d'humidité du sol, de l'augmentation du taux d'évaporation et de l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur. L'intensification de la fréquence des incendies pourrait

affecter la capacité de résistance aux incendies et le potentiel de régénération de nombreuses espèces forestières israéliennes et, par conséquent, les écosystèmes forestiers pourraient être sévèrement endommagés.

Dépérissement terminal des forêts

L'augmentation des températures due au changement climatique accroît le coût respiratoire des tissus vivants. De plus, une baisse des précipitations pourrait être à l'origine d'un déclin de la production primaire brute des forêts, et donc d'un déséquilibre du bilan du carbone de certaines forêts méditerranéennes. En période sèche, lorsque le taux de précipitation annuel est extrêmement bas, le coût respiratoire est compensé par l'utilisation d'hydrates de carbone libres stockés par les végétaux. Lorsque ce réservoir est épuisé, les symptômes visibles du dépérissement terminal des forêts deviennent évidents, ce qui signifie que le contrôle du niveau d'amidon végétal peut être utilisé comme indicateur efficace pour la prévention du dépérissement terminal. La réduction du coût respiratoire des forêts est cruciale à la survie des essences forestières en période difficile. D'après les études effectuées, la réduction de la densité des rejets est une technique de gestion efficace pour allier aux impacts négatifs du changement climatique (Gracia, 2006).

Parasites forestiers

Les niveaux accrus de CO₂ atmosphérique entraînent une augmentation du rapport C/N dans les tissus végétaux, ce qui donne lieu à une baisse de la qualité nutritionnelle des feuilles consommées par de nombreux insectes défoliateurs. Certains insectes réagissent en augmentant leur niveau de consommation foliaire, ce qui aggrave les dommages causés aux arbres. D'autres insectes subissent un taux de mortalité plus élevé et une performance réduite. Le niveau de défense chimique des végétaux pourrait également être influencé par une variation des concentrations de CO₂. Les températures affectent soit la capacité de survie des insectes actifs en période froide, tels la chenille processionnaire du pin, soit le mécanisme de synchronisation entre l'hôte et les herbivores, comme dans le cas de la tordeuse du mélèze. Une augmentation des températures pourrait altérer le mécanisme d'ajustement au climat local des cycles de l'insecte (diapause), ce qui aboutirait à un développement plus rapide et un taux d'alimentation plus élevé – une technique visant à lutter contre les impacts négatifs du changement climatique (Battisti, 2004).

Espèces envahissantes

Il est certain que le changement climatique augmentera le taux d'envahissement des espèces exotiques. Des résultats expérimentaux démontrent que les espèces exotiques exposées à un taux de concentration élevé en CO₂ utilisent de manière

plus efficace l'eau disponible, ce qui les rend plus productives que les espèces autochtones. L'augmentation de la fertilisation en azote favorise également les espèces exotiques par rapport aux espèces autochtones (Medail, 2007). Le nombre d'espèces exotiques présentes en Méditerranée a augmenté considérablement au cours des dernières décennies. Bien que les espèces exotiques aient toujours une présence modérée au sein de l'environnement forestier méditerranéen (à l'exception des formations ripisylves), un grand nombre d'arbres exotiques (par exemple, *Ailanthus altissima*, *Acacia* spp., *Robinia pseudoacacia*) sont désormais devenus agressifs dans certaines régions, colonisant les lisières des forêts et les zones boisées ouvertes. Les forêts ripisylves en Méditerranée représentent un écosystème très fragile face aux espèces exotiques car ces dernières colonisent généralement de vastes territoires et sont dotées d'un dynamisme et d'un potentiel de croissance élevés (Medail, 2007).

5 | Adaptation au changement climatique

Depuis le début des années 1990, l'évaluation des impacts du changement climatique et de leurs répercussions sur la gestion des ressources naturelles a été le point central de nombreux efforts de recherche scientifique à travers le monde. Malgré ces initiatives scientifiques importantes, très peu a été accompli jusqu'à présent pour planifier et mettre en œuvre des mesures d'adaptation pour la gestion et la conservation des forêts, principalement en raison :

- des nombreuses incertitudes qui pèsent sur les projections relatives à la variabilité climatique et les simulations de réactions ;
- du manque d'interaction proactive et de communication dynamique entre les gestionnaires forestiers « sur le terrain » et les scientifiques et les résultats de leurs recherches ;
- des conditions « encore défavorables » (en termes de prise de conscience, de capacité, de politique, de stimulation et d'approches incluant des niveaux de planification et d'intervention, etc) aux niveaux national et régional.

Que signifie la notion d'adaptation ?

Selon Spittlehouse & Stewart (2003), l'adaptation au changement climatique concerne les ajustements des systèmes écologiques, sociaux et économiques en réaction aux impacts du changement climatique. Dans le cas d'écosystèmes vulnérables, l'adaptation requiert des pratiques de gestion souples afin de renforcer la capacité d'adaptation propre aux espèces et aux habitats, mais aussi de réduire les tendances qu'ont les pressions anthropogéniques à exacerber la vulnérabilité du climat (Hulme, 2005). Ceci exige souvent la mise en œuvre d'efforts de restauration écologique afin de rétablir les conditions environnementales des peuplements d'espèces forestières, des formations forestières et des territoires qui ont beaucoup évolué dans le passé suite à l'exploitation des terres par l'homme.

La nature, de façon générale, et les écosystèmes forestiers en particulier, s'adapteront de façon autonome au changement climatique, comme ils l'ont toujours fait depuis des millénaires. Néanmoins, nous pourrions influencer les

obstacles, le sens et le moment de cette adaptation afin d'atténuer les coûts socio-économiques et environnementaux des perturbations aggravées par le changement climatique, et de maintenir les valeurs sociales des systèmes écologiques et économiques actuels (par exemple, la conservation *in situ* des espèces prioritaires et des habitats énumérés dans les appendices de la Directive Habitats ; la conservation et la gestion durable des forêts de chênes-lièges dans la portion ouest de la région méditerranéenne afin de préserver les économies liées au liège et les moyens de subsistance des populations qui en dépendent).

Étant donné l'évidence du changement climatique observée au cours des dernières décennies, les stratégies d'adaptation doivent non seulement être appliquées à l'avenir, mais leur mise en oeuvre devient urgente dès à présent.

Les forêts et leur adaptation au changement climatique

Les forêts sont des écosystèmes dynamiques, en état de changement et de restructuration perpétuels à échelle variable dans l'espace et dans le temps. Nous appelons ce procédé la succession écologique. Celle-ci inclut :

- Des dynamiques spécifiques internes : différents types d'interactions entre les espèces et capacités multiples de facilitation, d'inhibition ou de tolérance aux autres espèces en cas de compétition interspécifique pour les ressources limitées (par exemple, les éléments nutritifs, l'eau et l'espace) ;
- La modification de l'environnement : formation des sols, conditions microclimatiques, etc... ;
- Les forces externes ou perturbations, y compris le changement climatique, qui rendent les ressources disponibles à nouveau, modifient les réservoirs (pools) d'espèces au fil du temps et restructurent constamment les communautés forestières.

Les forêts sont donc influencées par les conditions climatiques et par les changements imprévisibles au niveau du climat. À leur tour, les forêts influencent le climat :

- Les perturbations stochastiques (imprévisibles), souvent causées par des événements climatiques extrêmes, stimulent les réponses adaptatives des essences forestières - en perpétuel état d'adaptation aux conditions environnementales variables - qui sont plus lentes que les tendances d'évolution de l'environnement ;
- L'évolution dans le temps des peuplements forestiers permet de créer des conditions microclimatiques dans les strates arbustives forestières. Ceci

favorise le maintien d'espèces inaptes à survivre aux conditions climatiques externes. Grâce à cette caractéristique, la conservation et la restauration des peuplements forestiers matures sont extrêmement importantes pour renforcer la capacité d'adaptation au changement climatique futur.

Selon cette approche dynamique, la résilience des forêts relève des conditions permettant à un écosystème forestier d'absorber et d'intégrer les changements environnementaux et de survivre (Holling, 1973). Les stratégies d'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique impliquent donc la compréhension et l'influence de ces conditions afin d'accroître les facteurs de résilience des forêts.

Les options en matière de stratégies d'adaptation des forêts au changement climatique dépendront des principaux objectifs des politiques forestières (par exemple, les produits forestiers ligneux et non ligneux, la préservation des futaies pour les activités de loisir et d'agrément, la conservation des ressources génétiques et de la biodiversité des forêts endémiques) lors de l'évaluation de leur degré de vulnérabilité au changement climatique. Néanmoins, la société moderne exige des systèmes forestiers multifonctionnels, non seulement pour assurer un approvisionnement adéquat en bois de haute qualité, mais aussi pour maintenir une vaste gamme de produits et de services, à savoir la séquestration du carbone, la préservation de la biodiversité, l'approvisionnement adéquat en eau de qualité et les valeurs esthétiques et émotionnelles. Les options en matière de stratégies d'adaptation nécessiteront des compromis afin de répondre à toutes les exigences.

Les variations climatiques se produisent en même temps que les changements d'affectation des terres et les dépôts d'azote et de pollution atmosphérique, ce qui nécessite des ajustements en matière de stratégies d'adaptation afin d'accroître les facteurs de résilience des forêts face à un ensemble plus complexe de changements.

Les cycles de vie des forêts durent de quelques décennies (pour les plantations d'arbres à croissance rapide) à plusieurs siècles (pour les systèmes forestiers naturels). C'est pourquoi, au cours du siècle prochain, les plans de gestion et d'aménagement devront intégrer les modèles de prédiction des changements biologiques résultant du changement climatique (Spittlehouse & Stewart, 2003). En règle générale, les changements biologiques inclueront :

- Une tolérance aux conditions environnementales variables et une survie *in situ* (du fait de la plasticité phénotypique, la survie, la croissance et la reproduction demeurent possibles au niveau local même si l'environnement subit des changements).

Et/ou, parallèlement :

- Une adaptation *in situ* des espèces à haut degré de plasticité¹¹ phénotypique (attribuable à une variation génétique/diversité héréditaire sous-jacente) qui pourront évoluer et s'adapter génétiquement aux nouvelles conditions.

Et/ou, parallèlement :

- Une migration des biomes à plus ou moins grande échelle qui se caractérisera par un déplacement des aires de distribution des espèces vers le nord et en haute altitude suite à des changements de l'environnement biotique qui leur est propice, tout en conservant leur « enveloppe climatique ».

Et/ou (par exemple, en cas d'obstacles), parallèlement :

- Une baisse du taux de croissance et du potentiel de régénération, susceptible de, finalement, mener à une extinction, faute de capacité à supporter les changements abiotiques.

Tous ces changements entraîneront probablement :

- La formation de nouveaux assemblages d'espèces dans l'espace et dans le temps qui pourraient aussi être influencés par les changements au niveau de la capacité de compétition des différentes espèces.
- Un accroissement de la capacité de compétition des espèces envahissantes.

Ces réactions ne sont pas mutuellement exclusives, mais pourraient se produire simultanément, et seront atténuées par certains éléments géographiques (par exemple, l'existence d'obstacles naturels ou de voies migratoires), physiques (par exemple, la disponibilité ou la pénurie d'éléments nutritifs, l'épaisseur des sols, la lithologie), anthropogéniques (par exemple, l'existence d'obstacles causés par les modifications apportées au territoire, l'introduction, ou non, d'espèces envahissantes) et écologiques (par exemple, des changements au niveau de la capacité de compétition des différentes espèces). Dans le contexte méditerranéen, l'eau est le principal facteur limitant.

11 La plasticité phénotypique concerne la capacité d'un génome à démontrer des caractéristiques morphologiques, comportementales et physiologiques alternatives (une gamme de phénotypes) en réaction à une variation des conditions climatiques.

Compte tenu de l'ampleur et du taux de changement climatique prévu, les arbres et les forêts seront particulièrement affectés. L'adaptation représente donc un problème majeur qui doit être abordé le plus tôt possible, notamment en raison du long horizon temporel associé aux décisions prises dans le domaine de la gestion des forêts. Contrairement aux autres secteurs de l'industrie, 5, 20, et même 50 ans constituent des horizons à court terme en ce qui concerne certains éléments de la gestion des forêts. D'ici les années 2080, un chêne planté aujourd'hui ne se trouvera qu'à mi-chemin de son cycle de rotation commercial, alors que pour un arbre d'une forêt semi naturelle, ceci correspondrait toujours à un stade juvénile. Il est difficile d'assurer que les décisions prises aujourd'hui, particulièrement en ce qui concerne les espèces plantées, seront adaptées à la fois au climat actuel et futur. Les décisions ne devraient pas être limitées au choix des espèces plantées – la planification au niveau territorial est également importante, puisque les superficies forestières plus grandes et moins fragmentées sont probablement plus résistantes aux perturbations environnementales. Le maintien de réseaux ou corridors forestiers permettront également à la flore et à la faune endémiques de migrer en fonction de l'évolution du changement climatique¹².

Options d'adaptation pour les forêts méditerranéennes

□ Les forêts méditerranéennes

s'adapteront de façon autonome au changement climatique, sans aucune intervention de l'être humain. nous observons que :

- La société d'aujourd'hui est très dépendante des biens et services offerts, tels qu'ils le sont maintenant, par les écosystèmes forestiers.
- Les impacts du changement climatique sur les forêts méditerranéennes seront aggravés par des changements non durables au niveau de l'utilisation des sols.

Ceci sous-entend la nécessité d'établir à l'avance des stratégies et options d'adaptation afin de prévenir tout changement majeur (par exemple, les processus d'extinction des espèces, les répercussions des phénomènes climatiques extrêmes) et de faciliter l'adaptation *in situ* et la migration des espèces dans le but de satisfaire les conditions environnementales, sociales et économiques désirées dans le futur.

¹² <http://www.forestresearch.gov.uk/website/forestresearch.nsf/ByUnique/INFD-5ZYFEX>

Des interventions d'adaptation sont nécessaires avant l'émergence de pertes irréversibles, ou avant l'apport d'une certitude absolue sur les répercussions négatives du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. Néanmoins, une approche préventive est également indispensable afin de parer à toute conséquence défavorable issue des options d'adaptation planifiées reposant sur des niveaux d'incertitude élevés et une base scientifique fragile. Les éléments suivants doivent donc être pris en compte :

- En cas de changement climatique, il est important de prévenir l'imprévisible et de considérer tous les choix de réponse possibles (Walker & Steffen, 1997).
- Les incertitudes liées au modèle et les limites en termes de prédiction des aires de distribution, de la conservation *in situ*, des possibilités de migration des espèces et des taux d'extinction (Pearson et al., 2006).
- Une stratégie d'adaptation clé en cas d'incertitude consiste à maintenir les processus et la structure écologiques à tous les niveaux et à réduire les pressions exercées sur les écosystèmes naturels (Markham & Malcolm, 1996) tout en intégrant la préservation de la biodiversité au sein des autres secteurs d'utilisation des sols de façon à ce que les réponses sociales au changement climatique ne compromettent pas la biodiversité.

Les forêts méditerranéennes se caractérisent par une diversité biologique importante. Les populations méditerranéennes d'espèces arborescentes présentes dans l'ensemble de la région méditerranéenne sont génétiquement plus variées que les populations situées à des altitudes nordiques. Les populations et les espèces se caractérisent souvent par une distribution clairsemée et sont particulièrement différenciées. Parallèlement, plusieurs espèces se distinguent par une aire de distribution vaste et large dans différents environnements, et les paysages forestiers de la Méditerranée sont très hétérogènes, abritant de nombreux types d'habitats et d'espèces. La stratégie d'adaptation la plus adéquate doit favoriser la diversité à tous les niveaux (gènes, espèces, communautés et paysages).

□ Options d'adaptation pour la conservation des ressources génétiques

Les populations d'espèces arborescentes qui se caractérisent par un haut niveau de diversité génétique peuvent s'adapter aux nouvelles conditions climatiques, bien que la gravité du changement climatique réduira certainement la taille et la densité de ces populations, et que la diversité génétique sera par conséquent réduite en réponse aux perturbations stochastiques, à la dérive génétique et à la consanguinité (Papageorgiou, 2008). Parallèlement, les populations d'espèces arborescentes seront contraintes à se spécialiser aux nouvelles conditions

climatiques au point d'entraîner une diminution de la diversité génétique dans son ensemble et de la capacité d'adaptation aux changements futurs.

L'objectif principal de la conservation des ressources génétiques est, au-delà de toute préoccupation économique, la préservation du potentiel évolutif/adaptatif des espèces, peuplements et écosystèmes. Les stratégies de conservation et de gestion adaptatives des forêts méditerranéennes peuvent être mises en place *in situ* ou *ex situ*.

Les stratégies *in situ* doivent permettre de préserver et d'améliorer la fonction du système génétique qui assure le transfert de la diversité génétique d'une génération à l'autre et favorise l'évolution (Papageorgiou, 2008). Les éléments suivants sont à souligner :

- Le potentiel de survie à long terme des « réserves génétiques » doit également être évalué. Dans ce cas, les populations marginales et disjointes au sein des aires de distribution sont susceptibles de jouer un rôle important. Les mesures de conservation des « réserves génétiques » ne viseront pas seulement la préservation des génotypes ou des espèces rares, mais aussi la conservation des habitats (Fady, 2008).
- La préservation de la diversité génétique permettra d'assurer une meilleure capacité d'adaptation des forêts. Les espèces et peuplements forestiers dont la plasticité phénotypique et la diversité génotypique sont plus élevées tolèrent mieux les changements dans l'environnement.
- Le besoin de favoriser la dispersion des gènes à des fins d'adaptation (hybridation) doit être considéré.
- Afin d'assurer le déplacement géographique du pollen et des graines, les mesures pouvant entraîner des perturbations du système génétique des populations d'espèces forestières doivent être évitées (par exemple, la fragmentation des forêts et la faible densité forestière) (Papageorgiou, 2008).
- Les activités de restauration doivent s'intéresser à la protection de la régénération naturelle. En cas de reboisement ou si un repeuplement s'avère nécessaire, le matériel utilisé doit provenir de graines locales (Papageorgiou, 2008).
- La translocation génétique vers des climats plus froids et plus humides devra être prise en considération. Des origines et génotypes plus résistants à la sécheresse pourraient également être considérés, bien qu'il soit difficile d'évaluer leurs réponses au changement climatique. La

nouvelle réglementation européenne relative aux matériels forestiers de reproduction (directive MFR 1999/105) présente le risque d'accroître les mouvements de MFR sur de longues distances en Europe dans un souci de rendement économique à court terme au mépris des considérations écologiques, ce qui incite à utiliser des matériels inadaptés (et non locaux) (Fady, 2008).

Dans le cas où les espèces ou populations ne peuvent pas s'adapter et les efforts de conservation *in situ* n'empêchent pas la disparition ultérieure d'espèces, des mesures *ex situ* s'avèrent nécessaires pour préserver la diversité génétique :

- La collecte fréquente et représentative de graines des principales espèces forestières et des espèces forestières les plus menacées doit représenter une mesure prioritaire. Les graines peuvent être conservées dans des banques et plantations génétiques et peuvent entraîner une augmentation de la base génétique des populations naturelles par la création de vergers à semences (porte-graines) qui fourniront des graines variables pour les activités de restauration (Papageorgiou, 2008).

□ Options d'adaptation, de la gestion et de l'aménagement forestiers

Un certain nombre d'études scientifiques¹³ ont modélisé les impacts du changement climatique sur divers écosystèmes forestiers et ont suggéré des options d'adaptation potentielles dans le cadre de la gestion des forêts afin d'atténuer les impacts négatifs du changement climatique global tout en augmentant le stockage de carbone dans les écosystèmes forestiers.

Un grand nombre de stratégies d'adaptation et d'interventions au niveau de la gestion des forêts ont été suggérées à l'aide de simulations modélisées, d'observations faites sur le terrain et d'avis d'experts. Nous tenons à souligner ce qui suit :

Changements dans la composition des espèces d'arbres

- Accélérer la migration en plantant de nouvelles essences arborescentes mieux adaptées aux conditions climatiques projetées, bien que cette option puisse présenter un risque important en raison des incertitudes liées au changement climatique.

13 Par exemple, le projet SilviStrat (Stratégies sylvicoles face au changement climatique dans le cadre de la gestion des forêts européennes), commandité par l'UE, concernant les stratégies d'adaptation de l'aménagement forestier en territoires pilotes situés au nord, au centre et au sud de l'Europe ; l'étude EUFORGEN sur le changement climatique et la diversité génétique forestière en Europe

- Accroître la diversité des peuplements forestiers mixtes et des arbres, particulièrement dans les zones écotonales, en combinant des espèces aux stratégies de croissance variées (rejets, arbres fruitiers, etc.) et des espèces résistantes à la sécheresse. Les experts considèrent les peuplements forestiers mixtes plus « naturels » et mieux adaptés aux conditions climatiques variables et aux impacts projetés du changement climatique (par exemple, les parasites).
- Préservation/restauration des vecteurs de dispersion biotique : ces derniers pourraient jouer un rôle important dans la dispersion à longue distance (par exemple, les populations aviaires et les espèces migratoires).

Changements au niveau des pratiques sylvicoles

- Changements des périodes de rotation et d'exploitation ou récolte : des périodes de rotation plus longues pourraient compenser la réduction du taux de croissance due au stress hydrique et à une augmentation de la quantité de carbone séquestrée par la biomasse arborescente, les sols forestiers et l'ensemble de la végétation.
- Éclaircie : dans l'optique d'un changement climatique imminent, la question de l'influence de la densité du peuplement sur le niveau de disponibilité hydrique demeure cruciale et mérite une quantification précise. À ce jour, l'éclaircie demeure la principale technique sylvicole grâce à laquelle le gestionnaire forestier peut éviter les stress hydriques importants et les taux de croissance lents qui résulteraient certainement d'une augmentation du niveau de variabilité climatique. Jusqu'à un certain point, nous pouvons également utiliser l'éclaircie pour pousser un peuplement vers son âge de rotation en période de changement environnemental marqué. Nous devons donc redoubler nos efforts de recherche sur cette technique afin d'être en mesure de mieux l'adapter à la multitude d'espèces, d'âges et de densités, et de l'utiliser avec plus de dynamisme afin de mieux préserver la stabilité écologique des peuplements existants composés d'arbres d'âges variés¹⁴.
- Prévention de la stagnation des taillis forestiers/des terrains broussailleux et l'activation de la production de biomasse afin :
 - a) D'obtenir des forêts matures plus diversifiées et mieux structurées, mieux adaptées au changement climatique (conditions microclimatiques) ;

14 Veuillez consulter le site Internet : <http://www.eco-web.com/editorial/05934-03.html>

- b) D'accroître la capacité de stockage des puits de carbone qui atténueraient les effets du changement climatique.

Changements au niveau des pratiques d'aménagement des sols

l'adaptation à un stress hydrique plus marqué dû à des précipitations irrégulières et à l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle liés à la hausse des températures est un facteur particulièrement important. Par conséquent, les techniques visant à promouvoir un stockage plus efficace de l'eau dans le sol doivent être particulièrement prises en compte dans le cadre de nombreuses politiques concernant l'adaptation des forêts au changement climatique (Rego, 2008).

- La séquestration du carbone dans le sol contribue non seulement au puits de carbone, mais améliore également la productivité du site (rétention d'eau et disponibilité des éléments nutritifs).
- Les pratiques efficaces d'aménagement du territoire permettent de prévenir les réductions importantes du couvert végétal (par exemple, la gestion durable du pâturage, la récolte de bois à faible impact) et d'atténuer les taux d'érosion des sols.
- Les pratiques efficaces de gestion des incendies (par exemple, l'éclaircie et le brûlage dirigé) permettent de prévenir les pertes de carbone du sol et des plantes.

Changements au niveau des directives forestières : promouvoir des pratiques forestières en accord avec la nature

- L'accroissement de la richesse spécifique arborescente et de la diversité structurale donne lieu à des peuplements forestiers mieux adaptés au changement climatique. Puisque la gestion des forêts multifonctionnelle constitue l'objectif principal de la majorité des politiques forestières modernes et que le bois est souvent un produit forestier méditerranéen à marché marginal, il sera beaucoup plus simple d'adopter des directives forestières en accord avec la nature pour ce territoire. Ceci permettra de conserver une production équilibrée de divers produits forestiers et d'assurer l'approvisionnement en services environnementaux importants (par exemple, séquestration du carbone, préservation de la biodiversité etc...).

□ Options d'adaptation à l'échelle des paysages

Ceci constitue le niveau adaptatif-clé dans l'optique de l'augmentation de la résilience et de la réduction de la vulnérabilité aux phénomènes climatiques extrêmes.

Un certain nombre d'actions prioritaires et de recommandations doivent être prises en considération :

- Évaluer la vulnérabilité et la capacité d'adaptation des principaux paysages forestiers (y compris leurs aspects environnemental, économique et social) ;
- Mettre en place des opérations de planification de paysages « résistants aux incendies » : des moyens de lutte plus efficaces contre les conditions de plus en plus graves des incendies de forêts plus intenses et plus fréquents attribuables au changement climatique doivent être considérés ;
- Améliorer la capacité des espèces à suivre le mouvement des enveloppes climatiques à travers les paysages ;
 - a) Assurer un habitat approprié sur l'aire de distribution spécifique finale prévue ;
 - b) Assurer un habitat approprié sur toutes les aires de distribution traditionnelles ;
 - c) Limiter la dispersion à longue distance par le biais de la restauration : mise en place de petits peuplements d'essences arborescentes diverses au sein des paysages hautement modifiés.
- Diversifier les types d'habitats, de forêts et d'utilisation des terres au niveau du paysage ;
- Accroître la diversité génétique, spécifique et paysagère, notamment dans les régions écotonales ;
- Maintenir/restaurer la connectivité au sein d'un paysage varié et dynamique ;
- Assurer un suivi afin de déterminer quels changements se produisent à quel moment ;
- Protéger les unités territoriales « refuges » dans les paysages hétérogènes qui ont joué un rôle important pour la conservation *in situ* des espèces et habitats reliques au cours des périodes antérieures de changement climatique ;
- Limiter les événements de dispersion à longue distance liés à des périodes ;

d'expansion explosives¹⁵ : mettre en place des actions de restauration des paysages forestiers en établissant divers petits peuplements d'espèces arborescentes sur des unités territoriales converties en territoires agricoles homogènes et étendus, ainsi que sur des territoires susceptibles de faire partie des routes migratoires.

Stratégies/mesures de restauration post-incendie afin de renforcer la résilience des forêts face aux incendies de forte intensité aggravés par le changement climatique : l'exemple de Valence (Espagne)

Alejandro Valdecantos

La végétation post-incendie peut être caractérisée par une végétation de broussailles renfermant une quantité importante de biomasse sèche. De plus, elle se définit par un niveau plus élevé d'homogénéisation du paysage, abstraction faite de la végétation avant incendie. Ceci a pour effet une continuité des risques combustibles et des risques d'incendie de forte intensité, ce qui entraîne dans la plupart des cas des cycles de dégradation par incendie. La restauration post-incendie doit donc réduire les risques liés aux incendies et renforcer la résilience et la résistance des écosystèmes et des paysages face aux feux de forêts.

Les mesures de restauration doivent rompre le cycle de dégradation et encourager la mise en œuvre de moyens plus efficaces pour favoriser l'évolution vers un écosystème forestier cible. Dans la région de Valence (Espagne), nous avons travaillé sur un terrain broussailleux de *Ulex parviflorus* vieux de 24 ans en effectuant un défrichage sélectif des espèces à reproduction sexuée obligatoire hautement inflammables (laissant intacts les individus d'espèces se reproduisant par rejet qui ont une capacité de régénération généralement plus rapide que les espèces semencières et offrent une plus grande protection contre l'érosion du sol et la dégradation), et en plantant des espèces se reproduisant par rejet. Trois ans après le défrichage, nous avons observé un changement significatif de la structure de la végétation et du modèle de combustible. Le défrichage sélectif a transformé un terrain broussailleux dense et continu

15 Des taux migratoires rapides ont été observés dans certains cas lors de variations climatiques antérieures et sont visibles aujourd'hui dans les cas d'invasions d'espèces exotiques, qui sont fréquemment encouragées par les activités anthropogéniques. L'expansion des mauvaises herbes, les événements rares de dispersion à longue distance menant à l'établissement de petits peuplements éloignés, suivis d'une phase de repos comportant peu de changements, puis d'une phase active d'expansion explosive étaient probablement des éléments importants des migrations de l'ère Quaternaire (Pitelka et le Plant Migration Workshop Group 1997 ; Clark et al., 1998).

hautement inflammable renfermant une grande quantité de biomasse morte en une prairie clairsemée d'arbustes se reproduisant par rejet et caractérisée par une charge en combustible discontinue. La part des espèces issues de productions de rejets par rapport aux espèces régénérées par semis a largement augmenté trois ans après l'opération de défrichage. Le paillage de la surface du sol par la mise en copeaux des arbustes et arbrisseaux a particulièrement réduit les taux de germination des espèces à reproduction sexuée obligatoire. Le nombre d'espèces se régénérant principalement par reproduction végétative était dix fois plus élevé que le nombre d'espèces à reproduction sexuée obligatoire selon les parcelles témoins. Ceci a donc conféré une capacité de résistance et de résilience plus importante au nouvel écosystème.

Des techniques visant à remédier aux périodes de sécheresse sont encouragées pour favoriser la survie à long terme des semis. Dans la région de Valence, nous avons utilisé la technique d'irrigation par écoulement de surface et le captage des eaux de brouillard.

- L'irrigation par écoulement de surface est une ancienne pratique agricole de la région méditerranéenne qui joue un rôle important dans la restauration des zones dégradées. Cette pratique consiste à ériger des canaux latéraux (surface de captage des eaux pluviales) menant vers le trou dans lequel le semis est planté (*microimpluvium*). Le taux de survie du *Quercus ilex* planté selon cette technique a augmenté de 25 % par rapport aux trous témoins. Une relation positive a été observée entre la surface de captage des eaux pluviales et l'humidité du sol dans le trou de plantation durant la première année suivant la plantation.
- Le brouillard représenterait une source hydraulique importante pour les écosystèmes. Lorsque le brouillard rencontre un obstacle naturel ou artificiel, l'eau se condense sur la surface de l'obstacle. Cette eau peut être stockée ultérieurement afin d'être utilisée pour les activités de restauration au cours des périodes de sécheresse. Dans la région de Valence, Estrela et al. (2004) ont souligné que la quantité d'eau de brouillard et la quantité d'eau pluviale recueillie lors de précipitations pourraient être équivalentes selon l'exposition et la localisation des citernes. L'arrosage des semis de *Quercus ilex* selon un débit de 3 à 5 litres d'eau de brouillard une ou deux fois durant le premier été suivant la plantation a permis d'atteindre des taux de survie de 100 %.

Extrait d'une étude de cas lors de l'atelier international co-organisé par l'UICN et le WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes » (Athènes, 14-17 avril 2008)

L'approche et les méthodologies de la RPF (Restauration des paysages forestiers) permettent de réunir les différentes parties prenantes afin d'identifier, de discuter et de mettre en place des pratiques visant à restaurer un équilibre optimal convenu au préalable des avantages écologiques, sociaux et économiques offerts par les écosystèmes et paysages forestiers dans un cadre plus large d'utilisation des terres (Saint-Laurent, 2008). La restauration et le reboisement post-incendie, selon l'approche de la RPF visant à renforcer la résistance et la résilience des paysages, permettent de répondre aux besoins d'adaptation en servant également de mesure d'atténuation car ils contribuent à stocker le carbone. Un partenariat mondial de restauration des paysages forestiers a été instauré en 2003. Ce dernier forme un réseau de gouvernements, d'organisations, de communautés et d'individus qui reconnaissent l'importance de la restauration des paysages forestiers et souhaitent prendre part à un effort mondial coordonné¹⁶.

Un plan national de protection des forêts contre les incendies forestiers a été mis en place au Portugal en 2006 en réponse aux incendies dévastateurs de 2003, 2004 et 2005. Ce plan, cohérent avec les principes de la RPF, prend en compte les variations climatiques prévisibles et le rôle multifonctionnel des systèmes forestiers naturels (à savoir les peuplements de chênes-lièges, de pins pignons, de chênes verts, d'arbousiers et de caroubiers) tout en encourageant une utilisation des terres plus efficace et en renforçant, parallèlement, la résilience des paysages (Rego, 2008). Les principales mesures mises en œuvre sont les suivantes :

- Le développement stratégique de traitements de réduction des risques imminents d'incendie et de traitements sylvicoles dans le cadre de l'instauration de réseaux régionaux de défense des forêts qui incluent la mise en place d'un réseau élémentaire de tranchées pare-feux et d'autres infrastructures spécifiques, mais aussi la gestion des forêts/de l'agriculture et des interfaces forestières/urbaines.
- La mise en place de « zones d'intervention forestière » (ZIF) gérées par les parties intéressées au niveau local (associations des propriétaires forestiers, municipalités et utilisateurs des terres) est indispensable pour faire face aux problèmes liés au régime et à la structure de la propriété forestière (holdings de très petite taille) et optimiser l'efficacité des dons européens et nationaux pour la gestion et la conservation des forêts. Ceci correspond à la façon la plus efficace d'instaurer des pratiques de gestion des forêts.

16 Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site Internet : <http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/globalpartnership>

- La planification intégrée de la restauration des zones forestières touchées par les incendies en 2003 et 2004 dans l'Algarve et le sud de l'Alentejo, avec la participation active des organisations et agences locales opérant au sein de ces paysages forestiers et la coordination de projets de restauration conjointement avec les institutions publiques et privées dont les responsabilités sont inhérentes aux forêts, sur une zone d'intervention d'environ 240 000 hectares.

La FAO continuera à promouvoir les directives volontaires pour la gestion des feux de forêts en tant qu'instruments indispensables à la mise en place de politiques et de plans nationaux ; par ailleurs, la gestion des incendies par les communautés de base demeure un élément fondamental des projets de gestion des incendies de la FAO dans la région (Castaneda, 2008).

□ Stratégies d'adaptation dans le cadre des plans de conservation de la biodiversité mondial, régionaux et nationaux :

La révision des aires protégées :

- Harmoniser la conservation du nombre d'espèces et de la complexité écologique tout en préservant la diversité à l'échelle du paysage (par exemple, l'aire de distribution altitudinale au sein des réserves est importante pour la migration en altitude ; l'hétérogénéité topographique, l'habitat et les microclimats présents dans les réserves contribuent à une augmentation du potentiel d'adaptation des réactions spécifiques au changement climatique).
- Le zonage souple des limites des réserves, le développement de stratégies d'aménagement des zones tampon, ainsi que les stratégies d'aménagement *inter situ* (gestion active des espèces sauvages à l'extérieur des aires protégées) joueront un rôle de plus en plus important dans la distribution des espèces et les scénarios migratoires en période de changement climatique.
- La fragmentation (attribuable aux schémas anthropiques d'utilisation des terres et aux obstacles actuels) pourrait constituer l'unique et principale contrainte à l'adaptation des écosystèmes en période de changement climatique. Les effets de lisière s'ajoutant à la fragmentation exposent des habitats complexes aux phénomènes climatiques extrêmes.

Évaluation du niveau de vulnérabilité des aires protégées :

- L'un des objectifs des stratégies d'adaptation est de s'assurer que le réseau actuel des aires protégées peut conserver sa diversité biologique à l'avenir en identifiant et en corrigeant les faiblesses existantes.

Liste non exhaustive des caractéristiques relatives aux aires protégées intensifiant leur vulnérabilité au changement climatique

- Présence de types d'écosystèmes fragiles
- Présence d'espèces/d'écosystèmes aux limites de leurs aires de distribution
- Présence d'espèces/d'écosystèmes à distribution géographique limitée
- Uniformité topographique et géomorphologique
- Petite superficie et un rapport élevé périmètre/superficie
- Isolement par rapport aux autres communautés constitutives
- Fragmentation anthropogénique des peuplements et des écosystèmes
- Pressions anthropogéniques au sein, et à proximité, des lisières
- Présence de communautés naturelles dépendant d'un ou de plusieurs processus ou espèces clés

La planification de la conservation visait initialement à préserver les modèles et servait de mesure réactive. Or, cette approche n'est plus adaptée dans un monde en constant changement comme le notre (Pressey et al. 2007). Un changement de paradigme est nécessaire. Celui-ci devra se concentrer sur les processus plutôt que les modèles et donner priorité à la planification proactive. Cela implique le développement d'instruments de prévision par les scientifiques afin de soutenir les parties intéressées dans l'élaboration d'outils décisionnels s'appuyant sur les prédictions relatives à la réponse de la biodiversité face à l'utilisation des terres et au changement climatique actuels. Par exemple, les mesures de protection visant le renforcement de la régénération naturelle et/ou la redéfinition de modèles géographiques dans les forêts montagneuses de sapins (*Abies pinsapo*) d'Andalousie suggéraient des options ne nécessitant aucune gestion ou un minimum de gestion. Par conséquent, en l'absence d'un régime naturel de perturbation mineure, ces forêts se sont densifiées au cours des dernières décennies, ce qui a diminué la capacité des espèces arborescentes à résister au stress climatique, notamment en périodes de sécheresse. Paradoxalement,

les résultats des mesures de protection strictes peuvent donc se traduire par une augmentation de la vulnérabilité des forêts de conifères montagneuses endémiques au changement climatique. Dans ces cas, l'adaptation au changement climatique nécessite le passage à une gestion proactive en vue d'améliorer la diversité structurelle du couvert forestier, à la fois au niveau des peuplements et des paysages¹⁷.

L'adaptation pour le renforcement de la résilience sociale

L'adaptation est un aspect important de la réponse sociale au changement climatique. Une adaptation planifiée et anticipée peut réduire la vulnérabilité et générer des opportunités liées aux impacts et aux dangers du changement climatique (Smit & Pilfsova, 2001). La mise en place de mesures d'adaptation pourra atténuer les impacts négatifs du changement climatique, notamment dans les régions les plus vulnérables comme la Méditerranée.

La société d'aujourd'hui est particulièrement dépendante des biens et services offerts, tels qu'ils le sont maintenant, par les écosystèmes. Les impacts du changement climatique seront aggravés par des changements non durables au niveau de l'utilisation des terres. Par conséquent, les chances d'une adaptation sociale seront amoindries. La plupart des populations forestières vivent dans des zones marginales, telles les terres arides et les montagnes, qui se caractérisent par un apport en ressources limité. Le changement climatique réduira davantage la disponibilité de ces ressources. Les habitants des forêts devront donc faire face à de nouveaux obstacles tout en disposant d'options d'adaptation limitées pour réduire les impacts du changement climatique, étant donné leur dépendance vis-à-vis des ressources naturelles et des cultures liées aux eaux pluviales. Les dangers et catastrophes associés au changement climatique sont susceptibles d'affecter le développement durable. Il est donc important de prendre clairement en compte les dangers et risques liés au changement climatique par la mise en œuvre de plans de développement et de politiques visant à renforcer la résilience sociale (Apuuli et al., 2000).

La résilience sociale au changement climatique peut être définie par la capacité d'une communauté à faire face au stress et aux perturbations dus au changement climatique (Adger, 2000). Consolider la résilience sociale signifie donc prendre en compte des besoins d'ajustement socio-économiques et écologiques similaires aux besoins nécessaires à la promotion des stratégies de développement durable. En résumé, la première étape d'adaptation la plus urgente est de mettre aux « processus et pratiques inadaptés », ou d'en inverser les tendances, car ils entraînent la dégradation et la disparition des forêts.

17 Cet exemple est extrait de Carreira et al. (2008)

Le renforcement de la capacité d'adaptation implique un certain nombre d'exigences, dont les suivantes :

- Le besoin d'améliorer les droits d'accès et les mécanismes d'accès aux ressources ;
- Le besoin d'encourager l'équité sociale, intergénérationnelle et l'égalité des sexes dans la distribution des ressources et des prestations ;
- Le besoin d'améliorer l'éducation et l'information en prenant en compte les connaissances, cultures et traditions locales ;
- Le besoin d'assurer des conditions de vie convenables (infrastructures, opportunités professionnelles, accès aux nouvelles technologies, santé, éducation, loisirs) ;
- Le besoin d'identifier et d'évaluer les ressources forestières de façon aussi précise que possible et d'indemniser les communautés forestières en tant que « protecteurs et leaders », à même d'assurer une utilisation et provision durable des ressources ;
- L'importance de diversifier, tout en assurant une exploitation durable, les revenus des agriculteurs de montagne par divers produits forestiers (par exemple, le tourisme rural) afin d'offrir des prestations supplémentaires et des opportunités professionnelles tout au long de l'année ;
- Le besoin de consolider et de rénover les systèmes agroforestiers traditionnels et de promouvoir le rôle multifonctionnel des forêts méditerranéennes tout en développant et en générant de nouvelles opportunités commerciales pour les produits et services forestiers de haute qualité ;
- Le besoin de préserver les communautés forestières et de renforcer la compétitivité des zones rurales.

Les options d'adaptation visant à renforcer la résilience sociale dans les zones forestières nécessitent des compromis afin d'harmoniser l'ensemble des besoins et de remplacer les pratiques inadaptées par une utilisation durable des terres et des ressources.. Les zones forestières méditerranéennes ont une valeur économique relativement faible en matière d'exportation de bois, mais élevée en ce qui concerne la préservation *in situ* d'une vaste gamme de produits et de services environnementaux (Regato & Salman, 2008). Les opportunités sont donc nombreuses en termes de stratégies d'adaptation au changement

climatique. La participation des parties concernées est indispensable, notamment pour s'assurer que les actions entreprises correspondent aux besoins et aux ressources locales, afin d'identifier et de promouvoir de manière efficace l'utilisation résiliente des sols face au changement climatique tout en impliquant les parties intéressées au niveau local et en optimisant les capacités d'adaptation locales (Burton et al., 2003).

Par exemple, dans la région forestière au sud du Portugal, fortement touchée par les incendies de forêts dévastateurs de 2003 et 2004, une évaluation participative des réussites et échecs antérieurs a démontré qu'une stratégie d'adaptation nécessitait une réorganisation des modèles de paysage, avec une redistribution et une restauration géographiques de l'utilisation des sols qui favorisent les pratiques de gestion traditionnelles, contrairement aux plantations d'eucalyptus à grande échelle. Une adaptation planifiée peut favoriser le développement durable si les propriétaires de terrains forestiers et les exploitants sont indemnisés en reconnaissance de leur rôle de gestionnaires des paysages naturels/culturels face à des contraintes environnementales. Les indemnités versées pour l'optimisation et la conservation de pratiques forestières adaptées (à savoir une meilleure gestion des forêts de chênes-lièges, la production d'arbousiers (*Arbutus unedo*), la gestion du pâturage dans les zones à haut risque d'incendie) ont pour objectif d'améliorer le rôle multifonctionnel des forêts et de promouvoir la réhabilitation écologique des terres agricoles marginales et le développement de plantations d'eucalyptus à faible niveau de production dans les zones forestières abritant des espèces résilientes (par exemple, replanter des arbres et des arbustes tels le chêne et l'arbousier ; forêts ripicoles ; pâturages). Les indemnités ou paiements sont versées aux propriétaires fonciers, aux associations et aux municipalités pour le reboisement, ce qui accroît les avantages économiques, sociaux et écologiques, promeut de nouveaux marchés (par exemple, pour les produits certifiés) et permet de prévenir les risques physiques et de restaurer les espaces dégradés.

Des mécanismes de gouvernance appropriés sont nécessaires pour parvenir à un consensus général au sein de la société sur les intérêts de la communauté dans son ensemble et les mesures à mettre en place. De plus, il est indispensable d'avoir une perspective générale sur le long terme permettant d'identifier les conditions nécessaires au développement humain durable et de définir les processus et les actions nécessaires pour atteindre un tel développement¹⁸. Une bonne compréhension des contextes historique, culturel et social d'une société ou d'une communauté donnée s'avère être la condition sine qua non.

18 <http://www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/Ongoing/gg/governance.asp>

Un cadre légal cohérent doit être respecté de manière impartiale. Celui-ci doit garantir la protection des droits de l'homme, notamment ceux des groupes marginalisés, assurer une application impartiale et définir un ordre judiciaire indépendant. Ceci permettra de réduire la corruption. Les opinions des groupes communautaires seront donc prises en compte et les plus vulnérables seront écoutés lors des prises de décision¹⁹.

Amélioration des moyens d'existence des communautés rurales et des services des écosystèmes : l'exemple du Plan Vivo

A. Morrison

Plan Vivo est un système de suivi des actions de réduction volontaire des émissions (RVE) à travers de projets d'utilisation durable des terres dans les pays en voie de développement. BioClimate Research and Development (BR&D), une organisation à but non lucratif, est responsable de l'élaboration et de l'exécution du Plan Vivo. Cette dernière inscrit et étudie des projets et délivre des certificats Plan Vivo, chacun représentant une tonne de CO₂, mais aussi des bénéfices additionnels aux communautés rurales et aux écosystèmes.

Les mécanismes de marché, tels les paiements pour les services rendus par les écosystèmes, aident à défrayer les coûts à court terme associés à la transition vers des pratiques d'utilisation plus durables des terres et créent des mesures incitatives significatives pour les personnes défavorisées vivant en milieu rural. Dans l'ensemble, les régimes d'aide ont été jugés inefficaces pour la création de changements permanents d'utilisation des terres, puisqu'ils ne parviennent pas à imposer de conditions ou à créer des mesures incitatives significatives. Plutôt que de responsabiliser les communautés, ils perpétuent souvent une culture de dépendance face à l'aide apportée.

Quel est l'avantage pour les communautés ?

Un grand nombre de familles sont très vulnérables aux impacts du changement climatique, à savoir les récoltes déficitaires dues à la sécheresse ou les pertes causées par les inondations ou les incendies. Les moyens d'existence ne sont durables que si les communautés peuvent survivre et se rétablir des chocs et du stress. Le projet Plan Vivo contribue à renforcer la résilience sociale et physique au changement climatique en accumulant le capital de la façon suivante :

19 <http://www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/Ongoing/gg/governance.asp>

1) Financièrement

Les activités forestières/agroforestières gérées de manière efficace permettent d'améliorer la capacité de survie des familles défavorisées en milieu rural face aux impacts du changement climatique en élargissant la gamme d'aliments et de combustibles et en augmentant le potentiel de création de revenu. Des sources diverses de revenu provenant de paiements de carbone et de produits forestiers ligneux et non ligneux permettent aux fermiers d'investir dans des systèmes durables et économiquement viables qui réduisent leur dépendance à l'aide ou au soutien gouvernemental.

2) Écologiquement

Les arbres contribuent à accroître la résilience de l'environnement physique, améliorent la capacité de conservation de l'eau et de préservation la biodiversité, protègent les récoltes, préviennent l'érosion des sols et augmentent la productivité (avec injection minimale de main d'œuvre) par le biais du recyclage des éléments nutritifs et de l'ombre qu'ils procurent. La mise en place de systèmes agroforestiers permet aux fermiers de bénéficier de systèmes agricoles plus équilibrés et donc moins vulnérables.

3) Humainement et socialement

Les fermiers deviennent plus résilients socialement de par les relations qu'ils cultivent pendant la durée des projets. Lorsqu'elles se joignent à un groupe, partagent leurs compétences et connaissances, les communautés peuvent bâtir des réseaux qui réduisent leur vulnérabilité. En échelonnant les paiements sur plusieurs années, durant lesquelles les fermiers reçoivent une formation et un soutien continu, les communautés arrivent à percevoir la valeur de leurs forêts et instaurent des pratiques durables sur le territoire. Les communautés pourraient également accéder plus facilement aux terres par le biais de projets où les coordonnateurs sont en mesure d'aider les groupes à se procurer un régime de propriété légal.

4) Physiquement

Les fermiers peuvent avoir accès à du matériel de qualité supérieure, à des semis et à d'autres moyens visant à améliorer leur capacité de gestion des ressources de façon durable.

Conditions indispensables

- Une capacité organisationnelle locale préexistante, une volonté locale

de s'engager et la présence de longue date, sur les lieux d'organisations coordinatrices influentes et aptes à mettre en place des structures de gouvernance efficaces

- Un régime de propriété foncière garanti.
- Des objectifs de gestion clairement définis pour et au delà des paiements de carbone. Objectifs de gestion clairement définis au-delà des paiements de carbone.

Enseignements tirés

- Débuter à petite échelle et apprendre par l'action, utiliser des processus simples (modèles souples) et renforcer les capacités par le biais d'un transfert des connaissances, des technologies et des compétences. De plus, l'accroissement d'échelle à partir de petits projets pilotes permet de mieux gérer les risques importants et d'augmenter le potentiel de durabilité.
- La priorité devrait être accordée aux modèles communautaires, à la gestion des risques et au développement durable à long terme.

Extrait d'une étude de cas lors de l'atelier international co-organisé par l'UICN et le WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes » (Athènes, 14-17 avril 2008)

Les communautés rurales des zones défavorisées (par exemple, les régions de forêts montagneuses en Méditerranée) sont les plus touchées par les impacts du changement climatique et les plus vulnérables. C'est pourquoi le conseil du FEM (Fonds pour l'Environnement Mondial) a suggéré que les 10 % des ressources voués à la Priorité Stratégique de l'Adaptation soient versés aux activités des communautés par le biais du programme de micro financements (PMF) du FEM (document FEM/C.23/Inf.8/Rev.1, 11 mai, 2004).

Le PNUD, en collaboration avec le PMF du FEM, a mis en place le programme d'adaptation communautaire (CBA) pour atteindre l'objectif qui consiste à diminuer la vulnérabilité et à augmenter les capacités d'adaptation aux impacts du changement climatique dans les pays ou régions où opère le FEM en renforçant la résilience des communautés, des écosystèmes et des moyens d'existence dépendants des ressources confrontés au changement climatique²⁰.

20 Consulter le site Internet : <http://sdnhq.undp.org/gef-adaptation/projects>

Le CBA fait appel à une technique innovante d'évaluation et de contrôle intitulée « Évaluation de la réduction de la vulnérabilité » (VRA). Cette dernière utilise un système d'indicateurs sur la base d'un questionnaire visant à évaluer les changements au niveau de la perception des membres de la communauté en ce qui concerne leur capacité à s'adapter au changement climatique, et s'exprime par un indice. Le PNUD est entrain de mettre en place un projet pilote dans le cadre du CBA au Maroc. Ce dernier sera focalisé sur trois zones et régions définies, y compris les ressources forestières du Moyen Atlas²¹.

Besoins de renforcement des capacités en matière d'adaptation

Le renforcement des capacités (RC) permet au système social, plus particulièrement aux institutions, de créer des cadres adéquats et de mettre en place des mesures favorisant l'adaptation au changement climatique. L'objectif principal du renforcement des capacités est de consolider le cadre institutionnel au moyen d'actions entreprises pour renforcer les connaissances, les compétences et la motivation des groupes cibles concernés afin de mettre en place et de contrôler de manière efficace les mesures d'adaptation au changement climatique (Illustration 6) (Stein, 2008).

Les éléments suivants doivent être pris en compte au cours du processus de renforcement des capacités en vue d'optimiser les capacités d'adaptation des principaux acteurs du secteur forestier :

- Sensibilisation et implication de la société :
 - a) Comprendre l'importance de promouvoir des mesures d'adaptation ;
 - b) Identifier et partager les bonnes pratiques et les connaissances traditionnels en matière d'adaptation aux changements environnementaux ;
 - c) Eduquer, informer et encourager les changements comportementaux.
- Recherche
 - a) Identifier, tester et améliorer les mesures d'adaptation ;
 - b) Mettre en place les mesures d'adaptation de manière adéquate ;

21 Consulter le site Internet : <http://www.undp-adaptation.org/project/cba>

- c) Assurer un suivi à tous les niveaux ;
- d) Mieux intégrer les disciplines diverses (génétique, écologique, sylvicole, sociale, économique, etc.).

Les programmes de renforcement des capacités doivent être élaborés en respect d'un certain nombre d'étapes (Stein, 2008) :

Étape 1 : accroître la prise de conscience autour du besoin d'adaptation et comprendre les perceptions locales relatives aux vulnérabilités, changements et impacts environnementaux.

Étape 2 : définir des mesures d'adaptation (MA) impliquant l'ensemble des secteurs concernés et prenant en compte les connaissances traditionnelles et les options innovantes.

Étape 3 : définir les acteurs nécessaires pour la promotion et la mise en place des mesures d'adaptation (renforcement des capacités des groupes cibles).

Étape 4 : définir les principales compétences et connaissances requises pour les groupes cibles afin de mettre en place de manière adéquate ces mesures d'adaptation (évaluation des besoins en matière de RC).

Étape 5 : définir un plan de renforcement des capacités : méthodes, contenu et outils.

Étape 6 : suivre l'appui à travers un système de partenariats.

Étape 7 : effectuer un suivi/une évaluation.

Les programmes de renforcement des capacités doivent être mis au point aux niveaux local, national et régional. Il est important que les parties intéressées et les organismes donateurs reconnaissent à la fois le rôle joué par les institutions de recherche en tant que centres d'excellence et la valeur potentielle des connaissances traditionnelles en terme de développement d'options d'adaptation innovantes. Un soutien optimisé est nécessaire pour un plan de renforcement des capacités impliquant un ensemble d'options :

- Définir et consolider les centres d'excellence relatifs aux forêts méditerranéennes et à l'adaptation au changement climatique dans les portions nord, sud et est de la région ;

- Établir des réseaux et programmes d'échanges régionaux reliant les centres d'excellence aux zones désavantagées ;
- Intégrer davantage la recherche (dans les domaines de la biologie et des sciences sociales) pour comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers et les habitants des forêts, mais aussi pour donner priorité aux efforts de conservation et de développement rural ;
- Mettre en place des initiatives de partenariat et de jumelage entre les zones et les régions forestières transfrontalières. Ces initiatives doivent encourager la mise en commun de valeurs écologiques (par exemple, initiatives nord-sud telles la réserve de biosphère transcontinentale entre l'Andalousie et le nord du Maroc) et inciter les parties intéressées à discuter des opportunités et des problèmes communs, à partager les leçons tirées et à adapter les solutions afin que ces dernières soient cohérentes avec la réalité socio-économique ;
- Organiser des ateliers et des programmes de formation internes pour les parties intéressées dans tous les secteurs selon l'approche « apprentissage par la pratique » afin de favoriser le développement d'outils spécifiques pour la planification et la mise en place d'activités d'adaptation ;

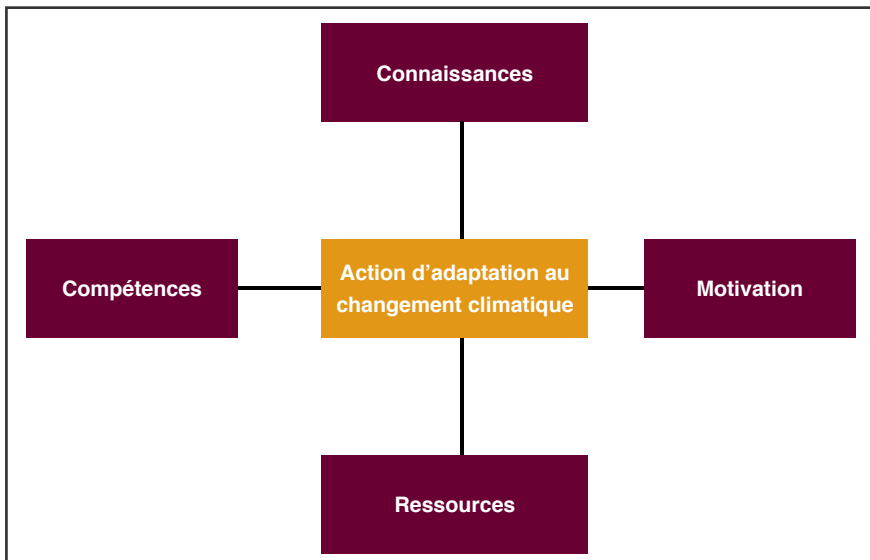


Illustration 6 : Les composantes du renforcement des capacités en matière d'adaptation au changement climatique (Source: C. Stein, 2008)

- Modifier les curricula des universités afin d'introduire la théorie d'adaptation au changement climatique ainsi que sa mise en application dans les programmes d'étude appropriés ;
- Définir des programmes de leadership spécifiques afin de conférer davantage de pouvoirs aux principaux acteurs aux niveaux local, régional et national ; les efforts à long terme requis pour une opération aussi importante nécessitent la présence de « leaders » au sein des différents groupes de parties intéressées, notamment au niveau des communautés de base.

Les différents programmes d'adaptation au changement climatique financés par l'UE abordant les problèmes liés aux forêts méditerranéennes constituent un excellent exemple de coopération entre les chercheurs et les institutions. Ces programmes sont, entre autres :

- Le projet SilviStrat (Stratégies sylvicoles face au changement climatique dans le cadre de la gestion des forêts européennes) s'articule autour des objectifs suivants :
 - a) Analyser les impacts directs et indirects des régimes et opérations de gestion des forêts actuels en ce qui concerne la séquestration et le stockage de carbone dans les forêts d'Europe et aboutir à une meilleure compréhension des techniques d'amélioration des régimes et opérations de gestion afin de soutenir la production forestière durable tout en augmentant la capacité de séquestration du carbone des forêts d'Europe face aux conditions climatiques actuelles et variables ;
 - b) Analyser les stratégies adaptatives de gestion forestière visant à limiter les impacts de la sécheresse et autres répercussions négatives du changement climatique ;
 - c) Evaluer dans quelle mesure les stratégies adaptatives de gestion des forêts visant à accroître la capacité de séquestration du carbone dans les forêts d'Europe affectent les coûts et les profits au niveau de l'unité de gestion ;
 - d) Evaluer les moyens mis en œuvre pour optimiser les opérations de gestion au sein des unités de gestion représentatives des principaux types de forêts européennes dans le but d'accroître la capacité de séquestration du carbone et de soutenir la production forestière durable face aux conditions climatiques variables ;

- e) Evaluer le potentiel de la gestion des forêts à l'échelle européenne en termes de séquestration de carbone et d'atténuation des impacts liés au changement climatique (<http://www.efi.fi/projects/silvistrat>).
- Le projet intégré ADAM (Stratégies d'adaptation et d'atténuation : soutenir la politique européenne pour le climat) s'articule autour des objectifs suivants :
 - a) développer et évaluer un ensemble d'options susceptibles de compenser les insuffisances des politiques actuelles d'adaptation et d'atténuation ;
 - b) déterminer si les politiques actuelles d'adaptation et d'atténuation permettent d'assurer une transition acceptable afin d'atteindre l'objectif qui consiste à limiter la hausse des températures moyennes annuelles à la surface de la planète à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels ; et
 - c) instaurer un cadre d'évaluation des politiques qui permettra, à l'avenir, de définir des politiques climatiques mieux adaptées. Le projet s'appuie sur quatre éléments :
 - 1) des scénarios qui orientent les analyses ADAM ;
 - 2) l'évaluation de la politique pour une analyse analytique et délibérative des options de la politique climatique ;
 - 3) l'adaptation pour l'analyse des impacts, de la vulnérabilité et des options d'adaptation en ce qui concerne les changements lents et les phénomènes climatiques extrêmes ;
 - 4) l'atténuation pour l'analyse des options de la politique d'atténuation, au niveau mondial et pour l'UE et ses états membres.
- Le projet ENSEMBLES s'articule autour des objectifs suivants :
 - a) développer un système de prévision d'ensemble basé sur les principaux modèles de pointe du système Terre haute définition à l'échelle mondiale et régionale, validés par des données de qualité, de haute résolution et quadrillées pour l'Europe afin d'aboutir, pour la première fois, à une évaluation probabiliste objective de l'incertitude du climat futur pour des échelles de temps allant du saisonnier, au décennal et au-delà ;
 - b) mesurer et réduire l'incertitude dans la représentation des rétroactions physiques, chimiques, biologiques et humaines dans le système Terre ; et

- c) maximiser l'exploitation des résultats en liant les résultats du système de prévision d'ensemble à une série d'applications, y compris l'agriculture, la santé, la sécurité alimentaire, l'énergie, les ressources en eau, l'assurance et la gestion des risques(<http://www.ensembles-eu.org>).
- Le projet de recherche CIRCE vise à mettre en place, pour la première fois, une évaluation des impacts du changement climatique dans la région méditerranéenne. Les objectifs de ce projet sont les suivants :
 - a) appréhender et quantifier les impacts physiques du changement climatique dans la région méditerranéenne ;
 - b) évaluer les répercussions du changement climatique sur la société et l'économie des populations de la région ;
 - c) développer une approche intégrée destinée à comprendre les effets combinés du changement climatique ;
 - d) identifier des stratégies d'adaptation et d'atténuation en collaboration avec les parties intéressées au niveau régional (<http://www.circeproject.eu>).
- L'étude DeSurvey vise à développer le prototype d'un système de surveillance flexible et peu coûteux afin de :
 - a) comprendre la désertification de manière systémique et dynamique ;
 - b) évaluer la désertification et le statut de dégradation des terres, y compris l'étude des facteurs moteurs et l'identification des points chauds ;
 - c) appréhender le phénomène de désertification selon des scénarios climatiques et socio-économiques précis ;
 - d) effectuer un suivi de la désertification et de la dégradation des terres sur de vastes étendues selon des méthodes objectives et concrètes ;
 - e) combler les lacunes entre les connaissances générées par le projet en ce qui concerne les processus mettant en évidence la désertification et les pratiques de formulation des politiques afin d'identifier, de prévenir et de parer aux risques de désertification (<http://www.desurvey.net>).
- Le projet GLOCHAMORE (Changement global et régions de montagne), issu d'une collaboration entre l'UNESCO-MAB et la MRI (Initiative de recherche

sur la montagne) et financé par l'UE²², a pour objectif d'identifier les signes de changement environnemental à l'échelle internationale dans les réserves de biosphère montagneuses à travers un réseau d'observation, incluant à la fois les systèmes naturels et socio-économiques. Deux montagnes de la région méditerranéenne font partie du réseau de recherche : la réserve de biosphère de l'Oasis du Sud Marocain (Maroc) et la réserve de biosphère de Sierra Nevada (Espagne).

- Le projet EUFIRELAB a pour objectif principal de devenir un « réseau d'excellence » pour les sciences et les technologies de l'incendie de forêt afin de favoriser la diffusion des connaissances, du savoir-faire, des données, des résultats et des analyses pour élever le niveau des sciences et technologies de l'incendie de forêt dans la zone euro-méditerranéenne. De plus, les unités de recherche : a) développeront des concepts, approches et « langages » communs ; b) élaboreront des méthodes et protocoles communs pour les activités de développement de la recherche et des technologies, intégrant les échelles spatiales et les différents rôles des espaces naturels non aménagés euro-méditerranéens (<http://www.eufirelab.org>).
- Le projet Fire Paradox vise à promouvoir l'utilisation du feu pour prévenir et combattre les incendies involontaires. La formation des professionnels sur la suppression du feu au Portugal a été l'un des changements les plus importants au cours des deux dernières années, et les résultats sont très prometteurs (Rego, 2008).

En plus de ces efforts régionaux, les pays de la région méditerranéenne mettent également en place des actions au niveau national, comme par exemple le réseau espagnol *GlobiMed*²³ qui analyse les impacts des périodes de sécheresse intenses et prolongées sur le dépérissement des forêts dans les aires forestières montagneuses au sein de la région biogéographique méditerranéenne dans le pays.

Les Nations Unies ont récemment lancé un programme conjoint (les organisations de l'ONU basées dans le pays sont le PNUD, le PNUE, l'UNICEF, la FAO et l'UNIDO) visant à renforcer les capacités d'adaptation de la Turquie au changement climatique (Zaim, 2008). L'objectif principal de ce programme est de renforcer les capacités de gestion des risques liés au changement climatique dans le développement rural et côtier de la Turquie. Cet objectif ne pourra être

22 Sixième programme-cadre de l'UE sur « le changement planétaire et les écosystèmes ».

23 <http://www.globimed.net>

atteint qu'en intégrant l'adaptation au changement climatique dans le cadre du développement national, en consolidant la capacité des institutions nationales et régionales, en dirigeant des projets d'adaptation au sein de la communauté dans le bassin de la rivière Seyhan et en intégrant l'adaptation au changement climatique dans l'ensemble des organisations de l'ONU basées en Turquie.

L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) travaille sur le renforcement des capacités en terme d'adaptation au changement climatique par le biais de l'instrument CRISTAL (acronyme anglais pour « évaluation des risques pour les communautés – adaptation et moyens d'existence ») (Riche, 2008). Cet instrument vise à réduire les impacts du changement climatique sur les moyens d'existence de la communauté. L'instrument CRISTAL a été pour la première fois testé sur terrain lors d'un projet de l'UICN au Mali (delta intérieur du fleuve Niger) et devrait être mis à disposition pour des tests ultérieurs.

La prise de conscience des habitants des zones forestières doit être encouragée en ce qui concerne la réalité et les impacts du changement climatique. Les considérations liées au changement climatique doivent être intégrées non seulement dans les réseaux de conservation des gènes, espèces et habitats, mais aussi dans la gestion et les pratiques forestières quotidiennes aux niveaux national et international (par exemple, sur l'ensemble de la région méditerranéenne) (Fady, 2008). Selon cet auteur, certains sujets urgents doivent être abordés et il serait important de rappeler aux responsables, ainsi qu'aux gestionnaires, que la région méditerranéenne est un réservoir potentiel de nouveauté évolutive qui pourrait servir aux forêts européennes dans le cadre de scénarios de changement climatique.

Cadres institutionnels et politiques favorisant l'appui des options d'adaptation

Parmi les multiples défis imposés à la société par le changement climatique, l'un des plus importants est sans doute l'approche du changement climatique de façon holistique, en considérant les impacts sur une vaste gamme de systèmes et sur les intérêts et problèmes de toutes les parties intéressées. Le besoin d'unifier les efforts au niveau mondial provient de trois sources différentes (Robledo & Forner, 2005) :

- Les impacts du changement climatique seront imposés à tous les secteurs de la société et à chacun des systèmes favorisant son développement ;
- La répartition de ces impacts a été, et sera toujours, inégale – certaines personnes seront plus touchées que d'autres ;
- Nous comprenons mal le changement climatique et ses impacts.

L'incorporation ou l'intégration de l'adaptation au changement climatique en tant que composante interdisciplinaire des différentes politiques sectorielles s'avère être une stratégie nécessaire en terme de développement durable sur le long terme. Les impacts du changement climatique ne sont pas observés de façon isolée ; les impacts dans un secteur peuvent affecter ou favoriser un autre secteur ; les secteurs peuvent être bouleversés directement et/ou indirectement par le changement climatique et, par conséquent, un changement concernant un secteur peut compenser les impacts du changement climatique dans un autre secteur (CCNUCC, 2007).

Les stratégies d'adaptation exigent une politique, une planification de l'espace et des pratiques d'aménagement souples afin d'améliorer la capacité d'adaptation inhérente des espèces et des habitats, mais aussi de réduire les pressions tendancielle d'origine anthropique qui favorisent la vulnérabilité à la variabilité du climat (Hulme, 2005).

Le processus d'adaptation s'appuie sur une base institutionnelle solide et cohérente. Les institutions fournissent ou identifient les ressources humaines et techniques et mettent en place des organismes chargés d'atteindre des objectifs précis. En général, les problèmes sociaux et problèmes liés au développement sont d'abord résolus au niveau national suite à la mise en œuvre d'une politique. En ce qui concerne l'adaptation, il est également possible d'établir un cadre politique générant un espace institutionnel qui incluerait l'adaptation comme étant partie intégrante des politiques nationales et sectorielles actuelles, plutôt que de développer une politique d'adaptation spécifique. Cette approche reconnaît à la fois la nature intersectorielle du changement climatique et contribue à faire un usage plus efficace des ressources et institutions existantes (Robledo & Forner, 2005).

Un cadre politique national propre à l'adaptation devrait impliquer l'ensemble des parties intéressées, y compris les gouvernements, institutions, ONG et le secteur privé, et être instauré en accord avec la situation institutionnelle, sociale et économique d'un pays donné afin de pouvoir le lier aux politiques en vigueur. Celui-ci doit fournir les grandes lignes de la stratégie nationale relative à la réduction de la vulnérabilité et coordonner les mesures propres au changement climatique et les mesures propres aux autres secteurs. Les mécanismes politiques relatifs aux stratégies d'adaptation sont les suivants :

- Mesures juridiques et réglementaires ;
- Mesures financières et économiques ;
- Mesures encourageant la participation du public.

Des stratégies d'adaptation nationales sont en cours d'élaboration dans quelques pays européens de la région méditerranéenne (par exemple, en France), plusieurs pays procèdent à des évaluations multisectorielles du changement climatique (par exemple, le Portugal et l'Espagne) et d'autres pays mettent en place des mesures d'adaptation dans le cadre de la gestion de la prévention des risques, de la protection de l'environnement et des ressources durables (par exemple, en Italie et en France) (Meiner, 2006). À ce jour, l'adaptation au changement climatique est rarement mentionnée dans les politiques nationales et les problèmes liés au changement climatique sont encore traités par des mesures d'atténuation visant soit à augmenter le stock de carbone pour la séquestration, soit à des fins d'énergie renouvelable.

Nous ne savons pas encore dans quelle mesure l'adaptation au changement climatique pourrait être intégrée à la législation en vigueur (par exemple, Fonds social européen, Fonds européen de développement régional, Directive européenne sur l'eau, LIFE+, Directive sur l'habitat, Stratégie forestière de l'UE, Plan d'action de l'UE en faveur des forêts) (Neufeldt, 2008). Néanmoins, il existe des concepts généraux qui visent à accroître la résilience face au changement climatique par le biais d'une collaboration accrue entre les parties intéressées, d'une coordination des activités, d'une intensification de la recherche sur les espèces et les paysages multifonctionnels plus résistants à la sécheresse, d'une diversification de la production forestière et de systèmes de suivi des forêts et d'alerte précoce. Ces mesures n'ont pas encore été totalement intégrées dans la législation nationale et régionale. L'intégration de ces dernières semble complexe pour un grand nombre des acteurs concernés, fait probablement dû au manque d'homogénéité entre les différents niveaux (Neufeldt, 2008).

Le livre vert de la Commission européenne²⁴ sur l'adaptation fait référence à ces problèmes, ce qui laisse entendre l'élaboration de nouvelles réponses stratégiques au niveau européen dès la fin 2008. Le livre vert reconnaît l'importance d'une « gouvernance à plusieurs niveaux » étant donné que la « gravité des impacts variera d'une région à l'autre selon la vulnérabilité physique, le niveau de développement socio-économique, les capacités d'adaptation de la nature et des habitants, les mécanismes de surveillance des services de santé et des catastrophes ». Le livre vert définit quatre options prioritaires d'une approche souple fondée sur quatre piliers :

24 Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site Internet : <http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/>

- une action immédiate au sein de l'UE afin de mettre en place des stratégies d'adaptation dans les zones où les connaissances existantes sont insuffisantes ;
- l'intégration des besoins d'adaptation internationale au changement climatique dans les politiques de relations extérieures de l'UE et la création de nouveaux partenariats avec des pays aux quatre coins du monde ;
- la réduction de l'incertitude en élargissant le socle de connaissances grâce à la recherche intégrée et à la diffusion des informations sur le climat au niveau de l'UE ;
- la création d'un groupe consultatif européen pour l'adaptation au changement climatique chargé d'analyser les stratégies et actions d'adaptation coordonnées.

□ Possibilités de coopération

L'intégration des stratégies d'adaptation aux politiques nationales est loin d'être évidente, notamment pour les pays dans la portion sud et est de la région méditerranéenne, étant donné la présence d'un certain nombre de contraintes (CCNUCC, 2007) :

- peu de données sur les options d'adaptation et manque de mécanismes pour la diffusion et la gestion des informations dans l'ensemble des secteurs ;
- personnel insuffisant pour la planification, la mise en place, le suivi et l'évaluation des options d'adaptation ;
- analphabétisme et pauvreté généralisés au sein des populations rurales ;
- faible prise de conscience des parties intéressées et de la population en ce qui concerne les stratégies d'adaptation ;
- instabilité politique.

La CCNUCC, le protocole de Kyoto (notamment le plan d'action de Nairobi) et d'autres instruments ont élaboré des mécanismes et programmes efficaces pour réduire la vulnérabilité, venir en aide aux habitants et protéger les écosystèmes, y compris les forêts, à des fins d'adaptation au changement climatique. Une coopération régionale étroite ainsi qu'une harmonisation des efforts lors des négociations futures sur un régime climatique post-Kyoto (Castaneda, 2008) pourraient aboutir à un certain nombre de solutions et d'opportunités dans cette

région particulièrement affectée et extrêmement vulnérable aux pourtours de la Méditerranée.

La coopération sud-sud et nord-sud en terme d'adaptation est un instrument efficace pour élargir les connaissances et partager les expériences relatives aux options d'adaptation, mais aussi pour favoriser des cadres de collaboration (par exemple, des réseaux, protocoles de jumelage, commissions et forums intergouvernementaux) dans le but de définir des mesures d'adaptation (projets conjoints) pour les écosystèmes forestiers des pays méditerranéens touchés par les mêmes impacts liés au changement climatique. Les activités considérées comme les plus efficaces en terme de coopération régionale sont les projets visant à identifier des problèmes communs et des solutions, comme par exemple l'élaboration de scénarios nationaux de changement climatique, la résolution des problèmes trans-frontaliers liés à l'adaptation, tels ceux posés par les ressources hydriques, et la gestion de projets jumelés entre les pays confrontés aux mêmes défis (CCNUCC, 2007). Les mécanismes de coopération régionale impliquent un grand nombre d'initiatives de collaboration bilatérale et multilatérale financées par les organismes intergouvernementaux, gouvernements, institutions et organismes non gouvernementaux. Il est important que le secteur privé opérant dans les portions sud et est de la région s'engage pleinement et activement à la planification et à la mise au point de stratégies d'adaptation afin d'assurer une approche d'adaptation à long terme et durable.

En outre, il est essentiel de promouvoir un meilleur accès aux financements et de favoriser des synergies à l'aide de sources de financement externes au processus de changement climatique. Le PNUE et le PNUD ont lancé une initiative conjointe d'adaptation au changement climatique (le partenariat PNUD-PNUE sur le changement climatique) dont le but est de renforcer les efforts de collaboration existants entre les deux organisations afin d'aider les pays à atteindre un développement durable face au changement climatique (PNUE, 2006). L'un des deux objectifs principaux de ce partenariat est « d'intégrer l'adaptation aux plans de développement nationaux et cadres de coopération des Nations Unies » par le biais d'une approche fondée sur trois piliers :

- *Stratégies de développement nationales* : le PNUD et le PNUE aideront les pays à évaluer leur vulnérabilité au changement climatique et à intégrer les stratégies d'adaptation dans la formulation et la mise en place de leurs politiques et plans d'investissement nationaux. Une synergie accrue entre la réduction des risques liés au changement climatique et le développement durable peut être atteinte en incorporant les stratégies d'adaptation aux efforts déployés afin d'atteindre les priorités de développement, telles la gestion des terres et le foncier ; la sécurité alimentaire, en particulier la disponibilité et la

qualité de l'eau ; mais aussi des priorités de développement plus larges telles les questions liées à la gouvernance et au genre.

- *Programmation par pays des Nations Unies* : le partenariat permettra aux équipes des Nations Unies dans les pays membres d'intégrer les risques liés au changement climatique dans la formulation et la mise en place de cadres de coopération des Nations Unies et apportera son soutien aux pays membres dans la lutte contre les pratiques intensifiant leur vulnérabilité au changement climatique et le renforcement de leurs capacités d'adaptation à la variabilité climatique et au changement climatique actuels.
- *Projets pilotes* : l'adaptation constitue un nouveau champ de travail complexe qui implique des décisions d'investissement à long terme face à un degré d'incertitude élevé. En tant que représentant du système de coordination des Nations Unies au niveau national, le PNUD prendra en compte l'expertise collective de tous les organismes des Nations Unies concernés afin d'élaborer des mesures d'adaptation dans les principaux secteurs affectés tels l'agriculture/la sécurité alimentaire ; les ressources hydriques et l'aménagement des côtes. Le PNUD et le PNUE faciliteront également l'accès de l'ensemble des organismes des Nations Unies concernés aux programmes de financement gérés par le FEM. Ces projets permettront aux pays d'évaluer les impacts du changement climatique ainsi que les options d'adaptation, de mettre au point des politiques et des mesures d'action et de valoriser les investissements de suivi. Les résultats de ces projets pilotes seront incorporés aux services consultatifs en matière de politique qui seront chargés d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans les plans de développement nationaux et les cadres de coopération des Nations Unies.

Certains pays du sud de la région méditerranéenne tentent actuellement d'intégrer des mesures d'adaptation dans leurs plans d'action nationaux et/ou leurs plans d'action nationaux pour l'environnement en vue de mettre en œuvre, ultérieurement, des stratégies d'adaptation. La Tunisie a demandé à l'Allemagne de l'aider à mettre en place un projet avant-gardiste de protection du climat. Le programme de protection du climat de la GTZ pour les pays en voie de développement (CaPP) a soutenu un projet en Tunisie qui s'articulait autour de deux objectifs :

- a) mettre en place des activités liées au mécanisme de développement propre (MDP) afin de multiplier et de bénéficier des opportunités financières et techniques mises à disposition des projets entrepris dans le cadre du MDP ;

- b) mettre au point des stratégies et des concepts à des fins d'adaptation au changement climatique (Benjamin, 2007).

Le principal objectif du projet financé par la Banque mondiale au Maroc, « Adaptation au changement climatique dans l'agriculture », est également de fournir aux responsables un ordre de magnitude des répercussions physiques et économiques du changement climatique sur le secteur agricole et d'identifier les possibilités d'action prioritaires à des fins d'adaptation²⁵. La FAO apporte son soutien au Maroc dans le cadre de ce projet par le biais d'une évaluation des impacts du changement climatique sur les rendements des cultures²⁶. Les étapes séquentielles suivies dans le cadre de ce projet sont les suivantes :

- a) Élaboration de scénarios de changement climatique,
- b) Évaluation des impacts du changement climatique sur l'agriculture (cultures),
- c) Évaluation des impacts économiques,
- d) Mise au point d'options d'adaptation en respect de la politique. L'approche choisie pour évaluer les impacts futurs du changement climatique sur les rendements des cultures au Maroc repose sur l'expérience de la FAO en ce qui concerne l'élaboration et la gestion de systèmes de prévision en temps réel du rendement des cultures dans un grand nombre de pays aux quatre coins du monde en vue de garantir la sécurité alimentaire mondiale.

25 Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site Internet : <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/MENAEXT>

26 Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site Internet : <http://www.fao.org/climatechange/49385/en/mar>

6 | Annex

DÉCLARATION D'ATHÈNES

Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes

avril 2008

Préambule

Du 14 au 17 avril 2008, les experts, scientifiques, ONG, des représentants d'organisation de conservation, écologues, représentants des gouvernements et organisations internationales de la région méditerranéenne se sont réunis à Athènes pour discuter des problèmes liés aux impacts du changement climatique sur les forêts méditerranéennes, impacts qui s'ajoutent aux menaces et aux défis existants dont les répercussions touchent principalement les écosystèmes et les personnes dépendantes de ces derniers. L'autre objet de leur rencontre était de déterminer des mesures et des options d'adaptation visant à renforcer la résilience sociale et environnementale.

Les forêts, les zones boisées et les maquis de la région Méditerranéenne, située dans une zone de transition entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie, représentent l'un des principaux centres de la biodiversité de la planète. De plus, ils sont définis par des caractéristiques culturelles exceptionnelles. La végétation méditerranéenne, répartie sur seulement 1,6 % de la surface terrestre, compte 25 000 espèces de plantes, ce qui représente 10 % des plantes à fleurs du globe. La Méditerranée est également considérée comme la deuxième région au monde à endémisme élevé : environ 50 % (13 000) de ces espèces ne se trouvent nulle part ailleurs sur terre. La région méditerranéenne compte la plus grande diversité des groupes d'espèces présents dans toute l'Europe, tels le sapin, le hêtre, le pin et le chêne. De plus, les populations de cette région sont souvent les plus variables en terme de diversité génétique. Les forêts méditerranéennes abritent également une diversité faunistique exceptionnelle, notamment si l'on considère le rapport entre la richesse spécifique et la superficie de la zone.

Les forêts offrent une diversité de services environnementaux indispensables à la société : la stabilisation du sol et la réduction de son érosion, le captage des eaux, l'approvisionnement en bois, en aliments et en espèces médicinales, la stabilisation de microclimats urbains ou encore des aires de jeux et de détente. Ces services sont d'une importance considérable, notamment dans des environnements extrêmes tels le climat méditerranéen, au sein duquel les pénuries d'eau constituent le principal facteur limitant. Si le couvert forestier venait à disparaître, l'approvisionnement irrégulier en eau favoriserait l'érosion du sol et le ruissellement des eaux.

Les principales causes de dégradation des forêts méditerranéennes sont les changements brusques expérimentés dans l'utilisation des terres, majoritairement provoqués par les pressions du développement et l'expansion urbaine, la fragmentation des habitats, la surexploitation des ressources et des pratiques de gestion inadaptées. À ces causes s'ajoute le changement climatique, qui se traduit par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur et des sécheresses, mais aussi par une hausse des températures moyennes. Le changement climatique pourrait donc épuiser les capacités de résilience et d'adaptation des écosystèmes forestiers de la Méditerranée.

Étant donné les faits suivants :

- notre planète connaît actuellement une période de changement climatique qui intensifie et aggrave les menaces et les causes à l'origine de l'extinction et de la dégradation des forêts ;
- les incendies de forêts constituent les conséquences les plus directes et immédiates du changement climatique sur les forêts méditerranéennes. Les impacts du changement climatique, tels que les périodes prolongées de sécheresse, les phénomènes météorologiques extrêmes (vagues de chaleur et vents violents), combinés aux changements en matière d'utilisation des terres, aux pratiques de gestion inadaptées, au manque de prise de conscience et de stratégies appropriées de gestion des incendies, favorisent l'augmentation de la fréquence, l'intensité et l'ampleur des incendies ;
- les pays méditerranéens ont en commun des thèmes de conservation et de développement socio-économiques malgré les nombreuses disparités encore présentes entre les différentes rives de la mer Méditerranée en termes de PIB par capita, de couverture des zones forestières et de structure de la propriété foncière ;

- malgré les efforts déployés, les écosystèmes des forêts méditerranéennes présentent un degré de dégradation encore alarmant. Les ressources naturelles et le patrimoine culturel en sont menacés ;
- le changement climatique, aggravé par des processus inadaptés et une utilisation des terres inadéquate (par exemple, changements brusques et non durables dans l'utilisation des sols, abandon rural et surexploitation des ressources terrestres) risque de réduire la capacité des forêts méditerranéennes à s'adapter au changement climatique, mais aussi d'accroître la fréquence et l'intensité des éclosions de pathogènes, d'incendies incontrôlables et d'autres perturbations à grande échelle ;
- les populations et économies de la Méditerranée seront sérieusement affectées par la réduction de la superficie des forêts, remplacées majoritairement par une végétation arbustive et de broussailles sujette aux incendies. Les zones boisées se caractériseront d'une part par une plus grande fragmentation du paysage qui, par conséquent, nuira aux chances de migration/dispersion de nombreuses espèces menacées d'extinction, et d'autre part par une réduction du taux de croissance des arbres et du revenu ultérieur généré par les forêts.

Les participants :

- **Demandent à tous les pays méditerranéens d'intégrer les besoins de réduction des risques d'incendie et d'adaptation au changement climatique dans l'ensemble des politiques sectorielles, réglementations et plans de développement ruraux/urbains liés aux écosystèmes forestiers aux niveaux national, régional et européen**
 - a) Continuer à promouvoir les activités de coopération entre le gouvernement, la communauté scientifique, les ONG, les groupes civiles et les organisations internationales à des fins de planification et d'élaboration participatives de paysages résistants aux incendies ;
 - b) Renforcer les relations entre les gestionnaires forestiers, les responsables des zones rurales et les communautés locales afin de s'assurer que les forêts soient perçues et reconnues comme des opportunités de subsistance accrues et de promotion des mécanismes pour le développement rural durable grâce à la diffusion des informations et à la sensibilisation de la société ;

- c) Encourager la mise en place de processus de planification ruraux participatifs qui confèrent davantage de pouvoir aux utilisateurs des terres et aux populations rurales et permettent à ces derniers de disposer de techniques d'utilisation des terres mieux adaptées et de pratiques adéquates en rapport avec les traditions agricoles adaptatives et la réduction des risques d'incendie au sein des paysages forestiers ;
- d) Accroître la prise de conscience en ce qui concerne le besoin urgent d'adopter une nouvelle approche pour « apprendre à vivre avec le feu » dont l'objectif est de réduire les impacts des régimes d'incendie de forêts à un niveau acceptable du point de vue social, économique et environnemental au lieu de mettre en place une stratégie de suppression radicale des incendies.

- **Demandent à tous les pays méditerranéens de remplacer leurs stratégies de réponse aux catastrophes naturelles, telles la lutte contre les incendies, par des stratégies et politiques de gestion intégrée des incendies (ou de toute autre perturbation majeure) qui :**

- a) Incluent les cinq éléments suivants : (1) des études sur les dynamiques des incendies de forêts et les causes à l'origine des incendies ; (2) la réduction et la prévention des risques ; (3) la mise en application ; (4) la réponse ; et (5) la récupération ;
- b) Soulignent le besoin essentiel de renforcer les moyens de mise en œuvre de nouvelles mesures de gestion des incendies en évaluant l'efficacité des instruments et politiques en rapport avec la réduction, la prévention et le contrôle des incendies et en intégrant également la réduction de la vulnérabilité et la prévention des incendies dans les pratiques d'aménagement et les outils de planification des paysages ;
- c) Reconnaissent le rôle essentiel des populations rurales dans la réduction de la vulnérabilité aux incendies et le besoin de mettre en place des processus de planification participatifs encourageant l'identification et l'adoption de techniques d'utilisation des terres et de modèles de paysages mieux adaptés ;

- **Demandent à tous les pays méditerranéens de mettre en place, d'évaluer et d'améliorer les stratégies et les outils d'adaptation au changement climatique au moyen d'études de cas :**

- a) Redéfinir les aires protégées individuelles et les réseaux régionaux et nationaux d'aires protégées selon « l'approche de l'écosystème » à

- l'échelle du paysage, et prendre les dispositions nécessaires pour assurer la durabilité in situ des réservoirs méditerranéens de diversité forestière (génotypes, espèces, communautés) et faciliter les besoins migratoires des espèces ;
- b) Fournir des recommandations et l'assistance technique aux gestionnaires forestiers et des terres visant à renforcer la résilience des forêts face au changement climatique, comme par exemple la nécessité d'augmenter la diversité à tous les niveaux (génotypes et composition des espèces ; types d'habitats et organisation en mosaïque des paysages forestiers), de modifier les pratiques sylvicoles (c.-à-d. améliorer la résistance des espèces aux conditions de sécheresse et aux pénuries d'eau ; périodes de rotation plus longues pour augmenter la séquestration de carbone) et de modifier les pratiques de gestion des sols (c.-à-d. travail du sol réduit et entretien du sol permanent afin de diminuer les taux d'érosion et de limiter les inondations en aval, mais aussi d'accroître l'absorption et la rétention d'eau) ;
- c) Encourager les gestionnaires forestiers, les scientifiques et les exploitants à évaluer et promouvoir la valeur économique et l'utilisation durable des produits et services forestiers, une étape fondamentale pour réduire les menaces existantes sur les écosystèmes naturels et augmenter la capacité des systèmes écologiques et sociaux à s'adapter au changement climatique ;
- d) Encourager des initiatives de restauration des paysages forestiers qui contribuent à préserver les processus écologiques fondamentaux et les valeurs de la biodiversité, à définir des modèles de paysage, des structures d'habitats et compositions d'espèces plus résistants aux perturbations à grande échelle, telles les incendies, et à procurer une grande gamme de bénéfices aux communautés rurales ;
- e) Promouvoir les résultats effectifs des projets et initiatives mis en oeuvre visant à renforcer la résilience des forêts méditerranéennes et des populations face aux impacts du changement climatique et favoriser leur réplicabilité et leur adaptation par l'instauration d'autres initiatives appropriées s'adressant aux différents contextes écologiques et socio-économiques de la Méditerranée ;
- **Soulignent le besoin urgent d'une coopération nord/sud en Méditerranée à tous les niveaux pour lutter contre les menaces existantes et futures,**

notamment en ce qui concerne la diffusion des savoirs, la recherche scientifique, les capacités de développement et l'instauration de partenariats pour la mise en place de processus d'adaptation au changement climatique contribuant à la conservation de la biodiversité et des valeurs culturelles, mais aussi à la gestion des ressources naturelles

- a) Proposition de création d'un groupe d'experts représentant les pays méditerranéens qui se réunira régulièrement pour étudier et évaluer les changements et leurs impacts prévus susceptibles d'affecter les écosystèmes et l'ensemble des communautés rurales de la Méditerranée, mais aussi pour mettre en place et proposer des mesures et des politiques ;
- b) La communauté scientifique doit s'engager à rendre les connaissances et la science plus accessibles aux populations et aux décideurs et à travailler en étroite collaboration avec les experts de communication et d'autres parties concernées afin de faciliter l'utilisation d'une langue, de valeurs économiques, d'études de cas et d'outils visuels communs ;
- c) Les praticiens doivent s'engager à diffuser et partager leurs informations, expériences et expertises et à travailler en étroite collaboration via des réseaux régionaux en respect d'une approche « nord/sud » afin de promouvoir des initiatives de recherche et mesures de contrôle, mais aussi des activités visant à renforcer les capacités à tous les niveaux ;
- d) Il est indispensable d'établir une culture commune en terme de formation continue, de développement des connaissances et d'échange d'expériences pour que les utilisateurs des terres expérimentés participent aux actions de réduction de la vulnérabilité et de prévention des incendies et intègrent ces dernières dans leurs pratiques de gestion afin de mettre en place des équipes opérationnelles de pompiers modernes, équipées et spécialisées dans la lutte contre les feux de forêts et d'assurer des systèmes de coordination efficaces impliquant les autorités publiques, les gestionnaires des terres, les institutions scientifiques et les équipes de protection civile /pompiers ;
- e) Il est essentiel d'impliquer le secteur privé pour son rôle de partenaire dans les travaux de conservation, de gestion et de restauration ;
- f) Les organisations internationales de la région méditerranéenne telles l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), le WWF (le Fonds Mondial pour la Nature), la FAO (Organisation des Nations Unies

pour l'alimentation et l'agriculture) et le PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement), y compris les divers réseaux nationaux et internationaux, doivent s'engager à renforcer leur coopération en matière d'adaptation des forêts méditerranéennes au changement climatique afin d'assurer une représentation substantielle des forêts de la Méditerranée au sein des politiques et forums environnementaux internationaux ;

- g) Les pays de la région méditerranéenne doivent faire de la conservation des forêts et de leur gestion durable des actions prioritaires aux niveaux national, régional et européen et mettre en place des instruments efficaces pour mieux sensibiliser et éduquer la société autour des services offerts par les écosystèmes forestiers méditerranéens.

De plus, les participants :

- Reconnait le rôle important des pays méditerranéens en ce qui concerne la présence de représentants techniques et politiques qualifiés et compétents lors des négociations internationales et forums consacrés aux problèmes liés aux politiques forestières ;
- Demandent aux gouvernements et aux partenaires régionaux intéressés de travailler en étroite collaboration afin de communiquer et rendre publics les conclusions et résultats des réunions.

Les participants reconnaissent que cette déclaration ne peut être appliquée que dans un contexte de coopération et de solidarité au sein de la région méditerranéenne.

Bibliography Bibliografía Bibliographie

Adger WN. (2000) Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, 24(3).

AEE (2004) *Impacts du changement climatique en Europe*.

Apuuli B, Wright J, Elias C, Burton I. (2000) Reconciling national and global priorities in adaptation to climate change: with an illustration from Uganda. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61(1), 145-159.

Bakkenes M *et al.* (2002) Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biol.*, 8, 390-407.

Battisti A. (2004) *Forests and climate change – lessons from insects*. [en-ligne] *Forest@*, 1(1), 17-24. [<http://www.sisef.it>]

Beniston M. (2003) Climatic Change in Mountain Regions: a Review of Possible Impacts. *Climatic Change*, 59, 5-31. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Impression aux Pays-Bas.

Benjamin S. (2007) *Adaptation to climate change: development of a national strategy for agriculture, ecosystems and water resources in Tunisia*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)

Breshears D, Ebinger MH, Unkefer PJ, Allen CD. (2001) *Assessing Carbon Dynamics in Semiarid Ecosystems: Balancing Potential Gains With Potential Large Rapid Losses*. First National Conference on Carbon Sequestration Proceedings. Informations sur les services de conférence, NETL

Brunet M, Aguilar E, Saladie O, Sigró J, López D. (2002) *Warming phases in longterm Spanish temperature change*. In : *13th Symposium on Global change and Climate Variations*, Orlando 13-17 janvier 2002, American Meteorological Society, Boston, 30-32.

Burton I, Soussan J, Hammill A. (2003) *Livelihoods and Climate Change: Combining Disaster Risk Reduction, Natural Resource Management and Climate Change Adaptation in a new Approach to the Reduction of Vulnerability and Poverty*. IISD, UICN et SEI. Boston.

Cairns DM, Moen J. (2004) Herbivory influences tree lines. *Journal of Ecology*, 92.

Carreira JA, López-Quintanilla JB, Linares JC. (2008) *Conservation and Management Adaptation Options for In Situ Preservation of Endemic Mountain Conifer Forests: The Abies pinsapo case in Andalusia (Spain)*. In : Regato & Salman *Mediterranean Mountains in a Changing World: Guidelines for developing action plans* 2008. UICN.

Carrión JS. (2003) *Sobresaltos en el bosque mediterráneo: incidencia de las perturbaciones observables en una escala paleoecológica*. Ecosistemas 2003 [<http://www.aeet.org/ecosistemas/033/revision1.htm>].

Castaneda F. (2008) Exigencies for adapting forests and their management and conservation to climate change in the Mediterranean Region. In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »*, Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

CCNUCC. (2007) *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*. CCNUCC.

Ciner A. (2003) Glaciers and Late Quaternary Glacial Deposits of Turkey. *Geophysical Research Abstracts* 5, 04888. European Geophysical Society 2003.

Clark, JS. (1998) Why trees migrate so fast: confronting theory with dispersal biology and the paleorecord. *The American Naturalist*, 152(2).

Clark JS, Lewis M, McLachlan JS, HilleRisLambers J. (2003) Estimating population spread: what can we forecast and how well? *Ecology*, 84(8).

Enright NJ, Marsula R, Lamont B, Wissel C. (1998) The ecological significance of canopy seed storage in fire-prone environments: a model for non-sprouting shrubs. *Journal of Ecology*, 86.

Estrela MJ, Valiente JA, Corell D, Millán MM. (2004) Fog collection in a region of the Western Mediterranean basin: evaluation of the use of fog water for the

restoration of wildfire burnt areas. In : *The Third International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, 11-15 octobre, Cape Town, Afrique du Sud.

Fady B. (2008) Influence of climate change on the natural distribution of tree species. In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Finsinger W, Tinner W, van der Knaap WO, Ammann B. (2006) The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews*, 25(2006), 612-631.

Galán E, Cañada R, Fernández F, Cervera B. (2001) *Annual temperature evolution in the Southern Plateau of Spain from the construction of regional climatic time series*. In : Brunet, M. and López, (Eds.) *Detecting and modelling regional climate change*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Etats-Unis 119-131.

García-Amorena I, Gómez Manzanque F, Rubiales JM, Granja HM, Soares de Carvalho G, Morla C. (2007) The Late Quaternary coastal forests of western Iberia; a study of their macro-remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 254, 448-461.

García-Amorena I. (2007). *Quaternary evolution of the Atlantic Iberian coastal forest. Palaeoclimatic Implications*. PhD. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar, 219p. Madrid, Espagne.

Giannakopoulos C, Bindi M, Moriondo M, LeSager P, Tin T. (2005) *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*. Rapport préparé pour le WWF. Observatoire national d'Athènes, Grèce.

Giorgi F. (2002) Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. *Part I: Observations, Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-001-0204-x.

Goubitz S, Nathan R, Roitemberg R, Shmida A, Ne'eman G. (2004) Canopy seed bank structure in relation to fire, tree size and density. *Plant Ecology*, 173, Kluwer Acad. Publishers, Pays-Bas.

Gracia C. (2006) Oak Decline and the Forest Carbon Balance. In : *Report on the Evora Conference: The Vitality of Cork and Holm Oak Stands and Forests* (25 au 27 octobre 2006) [http://www.aifm.org/page/doc/Evora06_rapport_gb.pdf].

Higgins SI *et al.* (2003) Forecasting plant migration rates: managing uncertainty for risk assessment. *Journal of Ecology*, 91, 341-347.

Hulme PE. (2005) Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42, 784-794.

Holling CS. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.

Huntley B. (1991) How Plants Respond to Climate Change: Migration Rates, Individualism and The Consequences For Plant Communities. *Annals of Botany*, 67 (suppl.).

Isendahl N, Schmidt G. (2006) *Drought in the Mediterranean: WWF Policy Proposals*. WWF.

Jacobeit J, Wanner H, Luterbacher J, Beck C, Philipp A, Sturm K. (2003) Atmospheric circulation variability in the North-Atlantic-European area since the mid seventeenth century. *Clim. Dyn.*, 20, 341-352.

Jones CD, Cox PM. (2005) On the significance of atmospheric CO₂ growth-rate anomalies in 2002-03, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L14816, doi:10.1029/2005GL023027.

Kettunen M, Terry A, Tucker G, Jones A. (2007) *Guidance on the maintenance of landscape features of major importance for wild flora and fauna - Guidance on the implementation of Article 3 of the Birds Directive (79/409/EEC) and Article 10 of the Habitats Directive (92/43/EEC)*. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Bruxelles, Belgique, 114p et Annexes.

Lindner M. (2006) How to adapt forest management in response to the challenges of climate change? In : *IPGRI-IUFRO Workshop, Climate Change and forest genetic diversity: implications for sustainable forest management in Europe*. Paris, France, 15-16 mars 2006.

Lloret F, Médail F, Brundu G, Hulme PE. (2004) Local and regional abundance of exotic plant species on Mediterranean islands: are species traits important? *Global Ecology and Biogeography*, 13(1), 37-45. Publié en-ligne le 9 janvier 2004.

McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (Eds.). (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability*. Contribution of

Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC). Cambridge University Press, Royaume-Uni, 1000p.

McLahlan JS, Clark JS, Manos PS. (2005) Molecular indicators of tree migration capacity under rapid climate change. *Ecology*, 86(8).

Medail F, Quezel P. (2003) Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen. *Bocconea*, 16(1), ISSN 1120-4060.

Meiner A. (2006) *Climate Change: a European Perspective*. Agence Européenne pour l'Environnement.

Midgley GF, Thuiller W, Higgins SI. (2007) *Plant Species Migration as a Key Uncertainty in Predicting Future Impacts of Climate Change on Ecosystems: Progress and Challenges*. In : Canadell JG, Pataki DE, Pitelka LF (Eds.) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*, Global Change - The IGBP Series. Springer Berlin Heidelberg.

Molles M.C. (1999). *Ecology – Concepts and Applications*. WCB McGraw-Hill, Boston.

Moorcroft P.R, Pacala S.W, Lewis M.A. (2006) Potential role of natural enemies during tree range expansions following climate change. *Journal of Theoretical Biology*, 241.

Morrison A. (2008) Rural Livelihoods and Ecosystem Services, The Plan Vivo Experience. In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Neufeldt H. (2008) Mediterranean forest adaptation to climate change: What can be learned from the ADAM project? In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Nowak CL, Nowak RS, Tausch RJ, Wigand PE. (1994) Tree and shrub dynamics in northwestern Great Basin woodland and shrub steppe during the late-Pleistocene and Holocene. *American Journal of Botany*, 81, 265-277.

Ohlemüller R, Gritti ES, Sykes MT, Thomas CD. (2006) Towards European climate risk surfaces: the extent and distribution of analogous and non-analogous climates 1931-2100. *Global Ecology and Biogeography*, 15.

Ortolani F, Pagliuca S. (2006) *Geoarchaeological evidences of cyclical climatic-environmental changes in the Mediterranean area (2500 bp-present day)*. Abstract GeoSed 2006, Modena.

Overpeck J, Whitlock C, Huntley B. (2003) *Terrestrial Biosphere Dynamics in the Climate System: Past and Future*. In : Alverson K, Bradley R, Pedersen T (Eds.) *Paleoclimate, Global Change and the Future*, IGBP Synthesis Volume. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne, 81-111.

Papageorgiou AC. (2008) Mediterranean forest genetic diversity and adaptive conservation strategies. In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Parmesan C. (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2006, 37, 637-69.

Pearson RG, Dawson TP. (2005) Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation*, 123.

Pearson RG, Thuiller W, Araujo MB, Martinez-Meyer E, Brotons L, McClean C, Miles L, Segurado P, Dawson TP, Lees DC. (2006) Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography Special Issue*.

Pe'er G, Safriel UN. (2000) *Climate Change Israel National Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change: Impact, Vulnerability and Adaptation*. Ministry of Environment.

Peñuelas P, Boada M. (2003) A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9(2), 131-140.

Petit JP, Hampe A, Cheddadi R. (2005) Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean. *TAXON*, 54(4): 877-885.

Pinho J. (2008) Spatial planning climate change adaptation options: Building "fire-smart" forest landscapes in Southern Portugal. In : *Compte-rendu présenté*

lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes » Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

PNUE. (2006) *Cooperation between the United Nations Environment Programme and the United Nations Development Programme*. UNEP/GC/24/INF/19.

Pressey RL, Cabeza M, Watts ME, Cowling RM, Wilson A. (2007) Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 583-592.

Regato P, Salman R. (2008) *Mediterranean Mountains in a Changing World: Guidelines for developing action plans*. Malaga, Espagne : Centre de coopération pour la Méditerranée de l'UICN, xii & 88p.

Rego F. (2008) Forest strategies to prevent risks associated to climate change: The Case of Portugal. *In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Reid H. (2006) Climate change and biodiversity in Europe. *Conservation and Society* 4, 84-101.

Riche B. (2008) Integrating climate change adaptation in development processes and projects, using the CRiSTAL tool. *In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Robledo C, Forner C. (2005) *Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change*. Forest and Climate Change Working Paper 2, FAO.

Saint-Laurent C. (2008) International Policy Context for Adaptation Within An Integrated Forest Sector Response. *In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »* Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Smit B, Pilfosova O. (2001) *Chapter 18: Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity*. *In : Contribution of Working Group II to the IPCC Third Assessment Report, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.

Solomon S *et al.* (2007) *Technical Summary*. In : Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (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, Royaume-Uni et New York, NY, Etats-Unis.

Spittlehouse DL, Stewart RB. (2003) Adaptation to Climate Change in Forest Management. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 4(1). FORREX.

Stein C. (2008) Capacity building for the development and implementation of forest adaptation measures. In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »*, Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Thomas CD *et al.* (2004) Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145-148.

Thompson JD. (2005) *Plant Evolution in the Mediterranean*. Oxford Univ. Press.

Thuiller W., Brotons L, Araujo MB, Lavorel S. (2004) Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography* 27, 165-172.

Tinner W, Conedera M, Gobet E, Hubschmid P, Wehrli M, Ammann B. (2000) A palaeoecological attempt to classify fire sensitivity of trees in the southern Alps. *The Holocene*, 10, 565-574.

Tinner W, Lotter AF. (2001) Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology*, 29(6).

Tinner W, Conedera M, Ammann B, Lotter AF. (2005) Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age. *The Holocene*, 15, 1214-1226.

UICN-WWF. Atelier international « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes », Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Valdecantos A. (2008) Post-fire restoration strategies/interventions to increase forest resilience against large forest fires exacerbated by climate change: The case of Valencia (Spain). In : *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international*

UICN-WWF « *Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes* », Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].

Walther GR *et al.* (2002) *Ecological responses to recent climate change*. *Nature*, 416, 389-395.

Vennetier M, Vila B, Liang EY, Guibal F, Ripert C, Chandioux O. (2005) *Impacts du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française*. *Ingénieries*, 44, 49-61.

Vetter M *et al.* (2007) Analyzing the causes and spatial pattern of the European 2003 carbon flux anomaly in Europe using seven models. *Biogeosciences Discuss.*, 4, 1201-1240.

Willis KJ, Niklas KJ. (2004) *The role of Quaternary environmental change in plant macroevolution: the exception or the rule?* *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* (2004) 359, 159-172.

Wilson RJ, Gutiérrez D, Gutiérrez J, Monserrat VJ. (2007) An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate change. *Global Change Biology*, 13 (9).

WWF. (2006) *Stormy Europe: the power sector and extreme weather*. Power-Switch Campaign.

Zaim K. (2008) Enhancing the Capacity of Turkey to Adapt to Climate Change. *In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes »*, Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].



Core support to the IUCN Centre for Mediterranean Cooperation is provided by:

