

Lawrence Berkeley National Laboratory

Lawrence Berkeley National Laboratory

Title

The Science of Climate Change

Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/22j7x2sx>

Author

Makundi, Willy R.

Publication Date

2002-09-20

Central American Regional Capacity-Building Workshop on Climate Change

September 16 – 20, 2002
Turrialba, Costa Rica

The Science of Climate Change

Trainer: **Willy R. Makundi**

Lawrence Berkeley National Laboratory
1 Cyclotron Rd., Berkeley, California, 94720
wrmakundi@lbl.gov

1. Introduction to Climate Change

Article 2 of the Framework Convention on Climate Change states that:

“The ultimate objective of this Convention and any related legal instruments that the Conference of the Parties may adopt is to achieve, in accordance with the relevant provisions of the Convention, stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system. Such a level should be achieved within a time-frame sufficient to allow ecosystems to adapt naturally to climate change, to ensure that food production is not threatened and to enable economic development to proceed in a sustainable manner”.

What constitutes "dangerous anthropogenic interference" is a value judgment arrived at through a socio-political process, taking issues like equity and sustainability into account. Science provides key information needed to arrive at an informed judgment. However, that judgment is primarily a political one, and not a purely scientific decision. Such judgments are based on risk assessment, and lead to risk management choices by decision makers, about actions and policies.

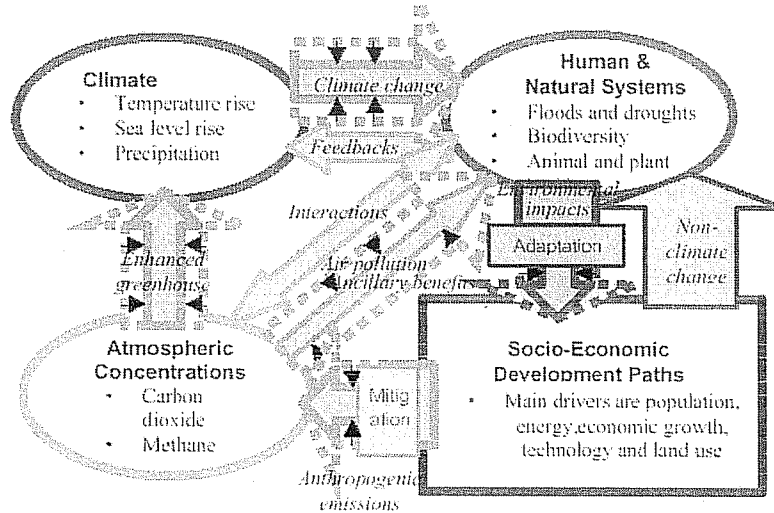
For any given region of the world say for example Central America, the basis for determining what constitutes ‘dangerous anthropogenic interference’ depends not only on the nature and consequences of climate change impacts, but also on the mitigative and adaptive capacity available to cope with climate change. The consequent types of adaptation and mitigation responses that will be selected, depend on the benefits and costs of various adaptation or mitigation responses. There is no universal best set of policies—rather it is important to consider not only the robustness of different policy measures against a range of possible future worlds, but also the degree to which such climate-specific policies can be integrated with other broader national sustainable development policies. As such the climate issue is a part of the larger question of how complex social, economic and environmental subsystems interact and shape prospects for sustainable development.

Depending on the differences among countries and regions, clear choices exist with regard to mitigation and adaptation policies and their linkages to more general sustainable development strategies. Studies (SRES, IPCCTAR, etc) indicate that there are substantial differences among alternative future worlds, and potentially strong non-linear responses in

all domains of the cycle shown in Figure 1 below. They also indicate that there are opportunities for countries acting alone or in cooperation with others to reduce costs of mitigation and adaptation and realize various benefits.

29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55

Figure 1.1b: An Integrated Assessment Framework for Considering Climate Change



1.1 What is climate change?

Climate change is global, long-term phenomenon (up to several centuries), and involves complex interactions between climatic, environmental, economic, political, institutional, social and technological processes. As such, climate change may have significant international and intergenerational implications in the context of broader societal goals such as equity and sustainable development.

Climate change in IPCC usage refers to any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity.

It includes shifts in the frequency and magnitude of sporadic weather events as well as the slow continuous rise in global mean surface temperature. In this context, climate change will include climate-weather variations on all temporal and spatial scales, ranging from brief-lived severe storms to seasonal El Niños, decadal droughts, and century shifts in temperature and ice

cover. Although short-term climate variations are predominantly natural at present, their impacts have to be considered when examining global climate change because they represent a class of changes that may become more prevalent in a future climate perturbed by human activities.

(This usage differs from that in the Framework Convention on Climate Change, where *climate change* refers to a change of climate that is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and that is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods).

• Interlinkage of Climate Change to Development

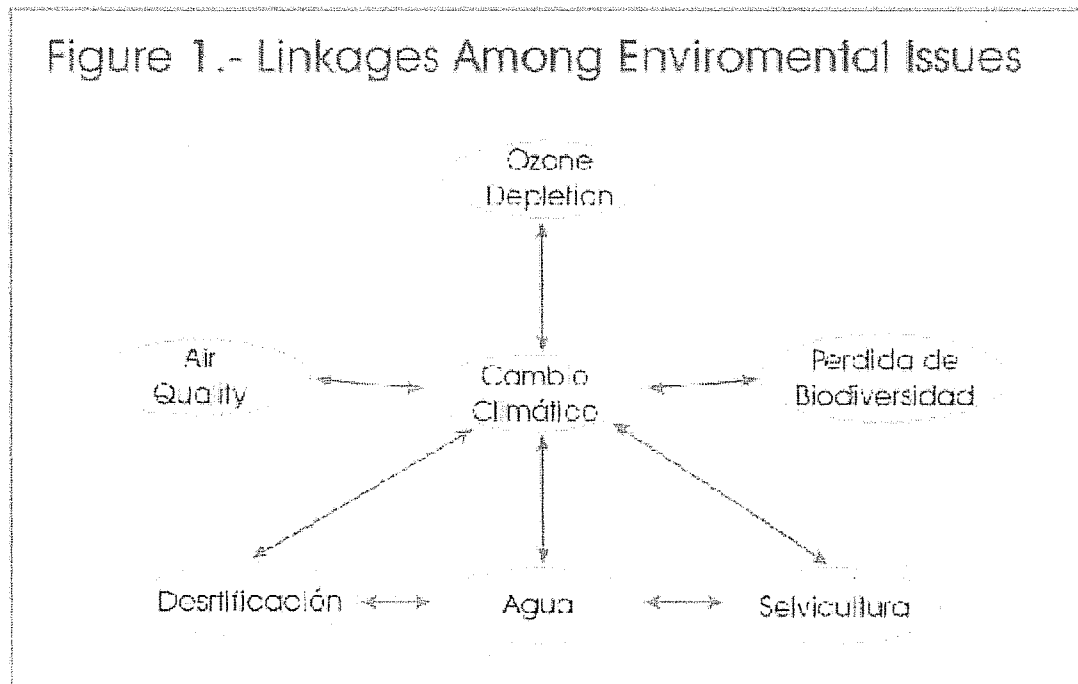


Figure 1.- Linkages among Environmental Issues. Climate, defined as the balance between the radiation energy from external (Sun) and internal (Earth and its atmosphere) sources, is controlled by geo-chemical processes and cycles resulting from the interplay among the environment's components involved, as affected by human action. The scheme shows some of these issues. There are a number of feedback loops in the interactions among climate, biodiversity and forests. For simplicity the single double-ended arrows between issues represent some of the linkages involved. For example, biological and ecological processes play an important role in modulating the Earth's climate at both regional and global scale by controlling the amounts of water vapor and other greenhouse gases that enter into or are depleted from the atmosphere. Changes in climate affect the boundaries, composition, and functioning of ecological systems, including forests, and changes in the structure and functioning of forests affect the Earth's climate system through changes in the biogeochemical cycles, particularly cycles of carbon and nitrogen. There are other linkages such as the connection between air quality and forestry, directly or through acid precipitation, which for simplicity are not shown here.

Figure 2.- Linkages among food production and global environmental issues

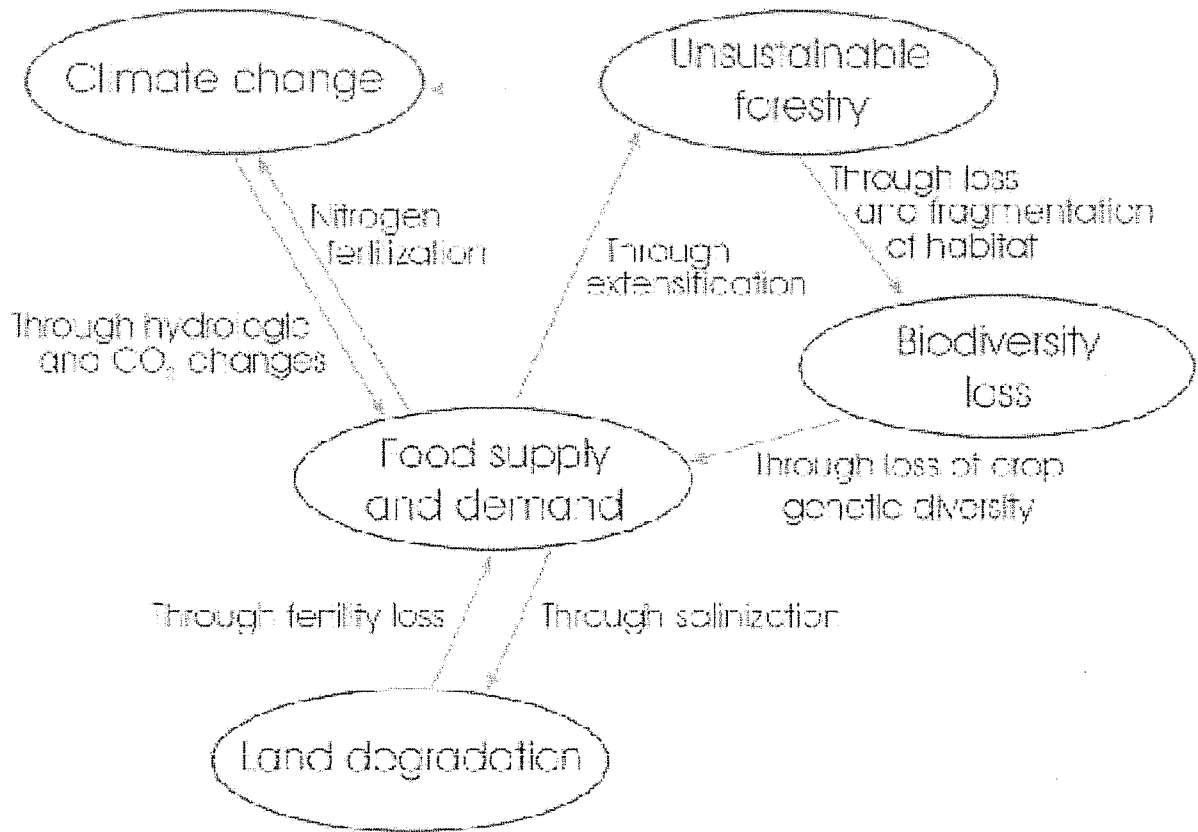


Figure 2.-Linkages among Food Production and Global Environmental Issues. Increasing food demand by an explosively growing world population calls for larger food production. This, in turn, brings a series of implications in the use of land, such as converting wildlands to croplands (extensification); using chemical fertilizers to increase yields (intensification) and using irrigation to increase yield or enabling cultivation in otherwise non-usable land. Expanding the land under cultivation results in loss of biodiversity, as ecosystems are converted to fields growing only a few species (usually exotics). Change of forests to agriculture bring a net loss of carbon to the atmosphere, as trees are replaced by grasses or crops. This clearing also increases flooding probability, as the agricultural systems retain less precipitation than forests. Intensification of crop production can involve a variety of chemical treatments, most of them being nitrogen fertilizers bringing the side effect of release of nitrogen gas compounds (some of which are strong greenhouse gases) to the atmosphere, and nitrogen runoff into watersheds, with many environmental and health implications. The expansion of irrigation affects the supply of freshwater for other uses, leading to shortages and conflicts over water-use rights. Any strategy for meeting the need for increased agricultural production has the potential to increase global rates of biodiversity loss, climate change and desertification.

Figure 3.- Elements of Sustainable Development

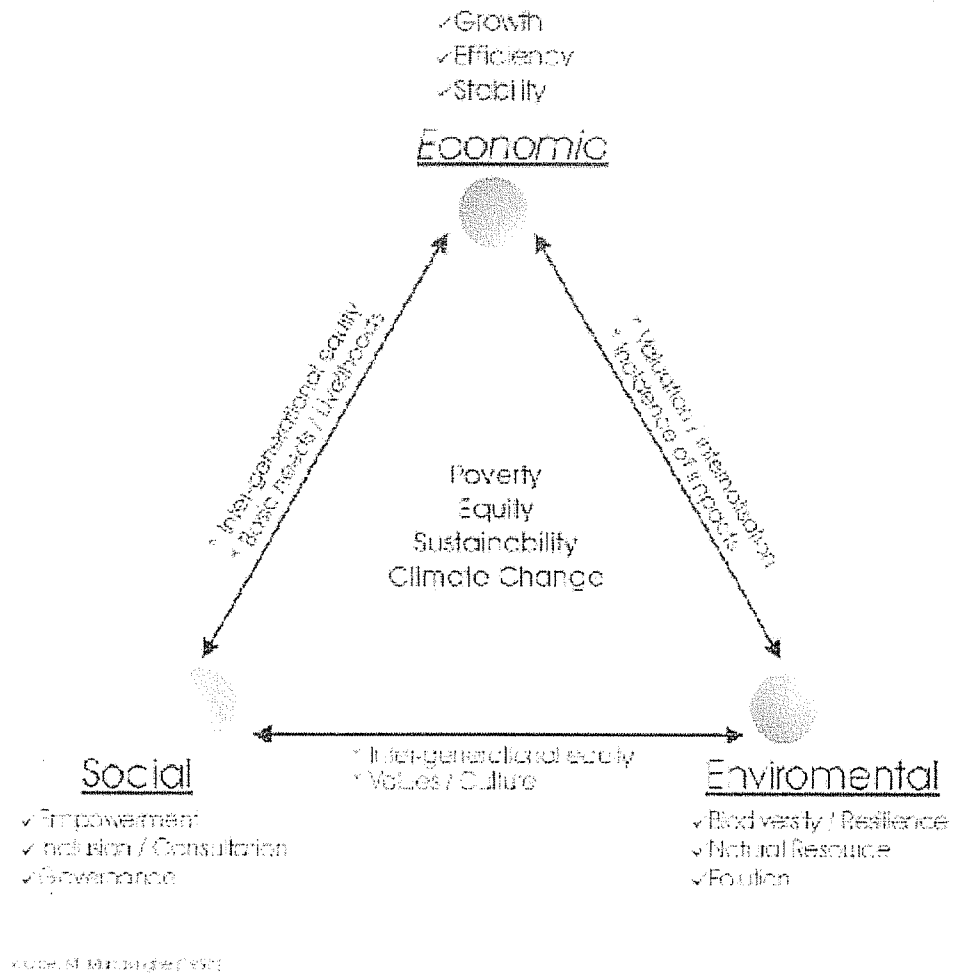


Figure 3.- Key elements of Sustainable Development and Interconnections. The development of the industrialized world focused on material production. The large and growing numbers of the poor in the developing world, and the lack of “trickled-down” benefits to them resulted in greater efforts to directly improve income distribution.. The development paradigm shifted towards equitable growth, where social objectives, especially poverty alleviation, were recognized as distinct from, and as important as economic efficiency. Protection of the environment, particularly in face of climate change, has now become the third major objective of development.. The scheme, making part of the cross-cutting issues enhanced through the IPCC Third Assessment Report indicates the connections between these three important elements : development, sustainability and equity.

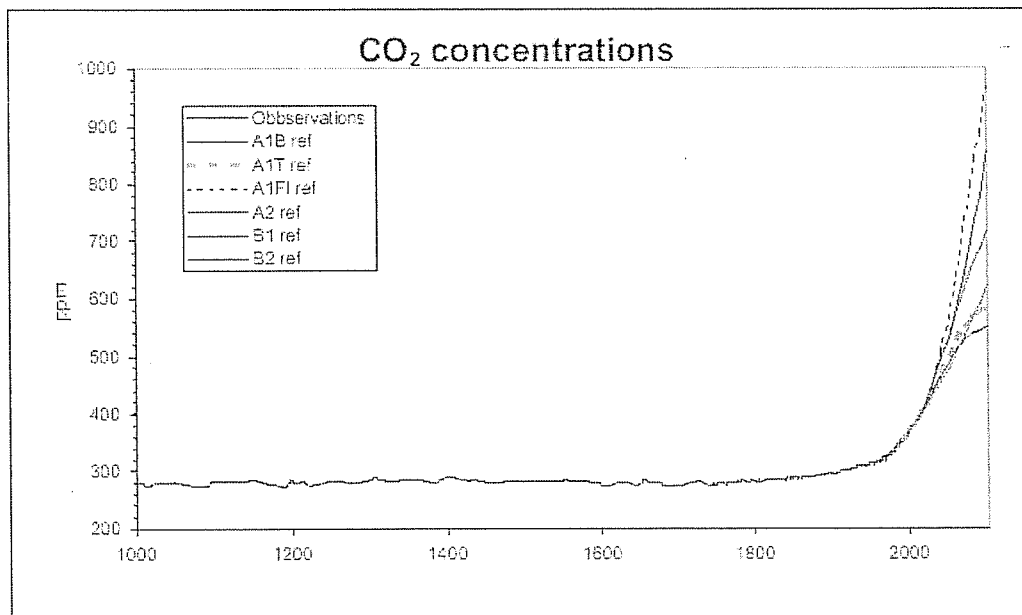
• Scientific Evidence

Causes of Climate Change and Evidence of its Occurrence

The Earth's climate system has demonstrably changed on both global and regional scales since the pre-industrial era, with some of these changes attributable to human influence. Emissions of greenhouse gases and aerosols due to human activities continue to alter the atmosphere in ways that are expected to affect the climate. *Concentrations of atmospheric greenhouse gases and their radiative forcings have increased over the 20th century as a result of human activities.*

In addition almost all greenhouse gases reached their highest concentrations yet recorded during the 1990s and continue to increase as shown below.. Atmospheric CO₂ and CH₄ have varied substantially during glacial-interglacial cycles over the past 420,000 years, but even the largest of these values are much less than their current atmospheric concentrations. In terms of greenhouse gases emitted through human activity, CO₂ and CH₄ are the first and second most important, respectively. From 1750 to 2000, the concentration of CO₂ increased about 30%, and that of CH₄ rose by about 150%

1 Figure 3



These rates of increase over the past century are unprecedented when compared with the past 20,000 years for which nearly continuous measurements exist. Fossil fuel burning released on average 5.4 Gt-C per year during the 1980s, increasing to 6.3 Gt-C/yr during the 1990s. About three-quarters of the current increase in atmospheric CO₂ has been caused

by fossil fuel burning, with land-use change including deforestation responsible for the rest. Over the 19th and much of the 20th century the terrestrial biosphere has been a net source of atmospheric CO₂, but during the 1980s and 1990s it has become a net sink. The increase in CH₄ can be identified with CH₄ emissions from energy use, livestock, rice agriculture, and landfills. Increases in the concentrations of other greenhouse gases, including tropospheric ozone, are directly attributable to industrial and agricultural emissions (WG1/2-3-4, SRAGA).

Resultant Radiative forcing and impacts

Studies and models on atmospheric accumulation of GHG and the possible implications to the global climate have led to a few specific conclusions, albeit with some degree of uncertainty:

- *The radiative forcing of climate change since the pre-industrial era has very likely been positive.* This includes the identified and well quantified positive (warming) and negative (cooling) elements, both natural and anthropogenic. Radiative forcing continues to be a useful tool to estimate the global-mean surface temperature response to human and natural perturbations. Greenhouse gases trap the heat radiated from the lower atmosphere and surface of the planet and tend to warm the Earth (i.e., a positive radiative forcing). Most aerosols enhance the reflection of sunlight and tend to cool the Earth's surface (i.e., a negative radiative forcing). The current positive radiative forcing from the primary anthropogenic greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O, halocarbons, and tropospheric O₃) is considerably larger than the sum of identified and quantified negative forcing from some anthropogenic aerosols, stratospheric ozone depletion, and land-use change as shown in Figure 2-2.

However, the aerosol forcing has much larger uncertainties due to its indirect effects on cloud brightness and longevity and on the hydrological cycle. Thus the net radiative forcing since 1750, although virtually certain to be positive, is not well quantified. Natural agents have contributed small amounts to changes in radiative forcing over the past century. Most of the radiative forcing due to changes in the radiant energy emitted from the sun since 1750 probably occurred during the first half of the 20th century. Stratospheric aerosols from large volcanic eruptions lead to significant negative forcing particularly the periods about 1880 to 1920 and from 1963 to 1994.

An increasing body of observations gives a collective picture of a warming world and other changes in the climate system. The Table below summarizes some of the key observed changes in the climate system

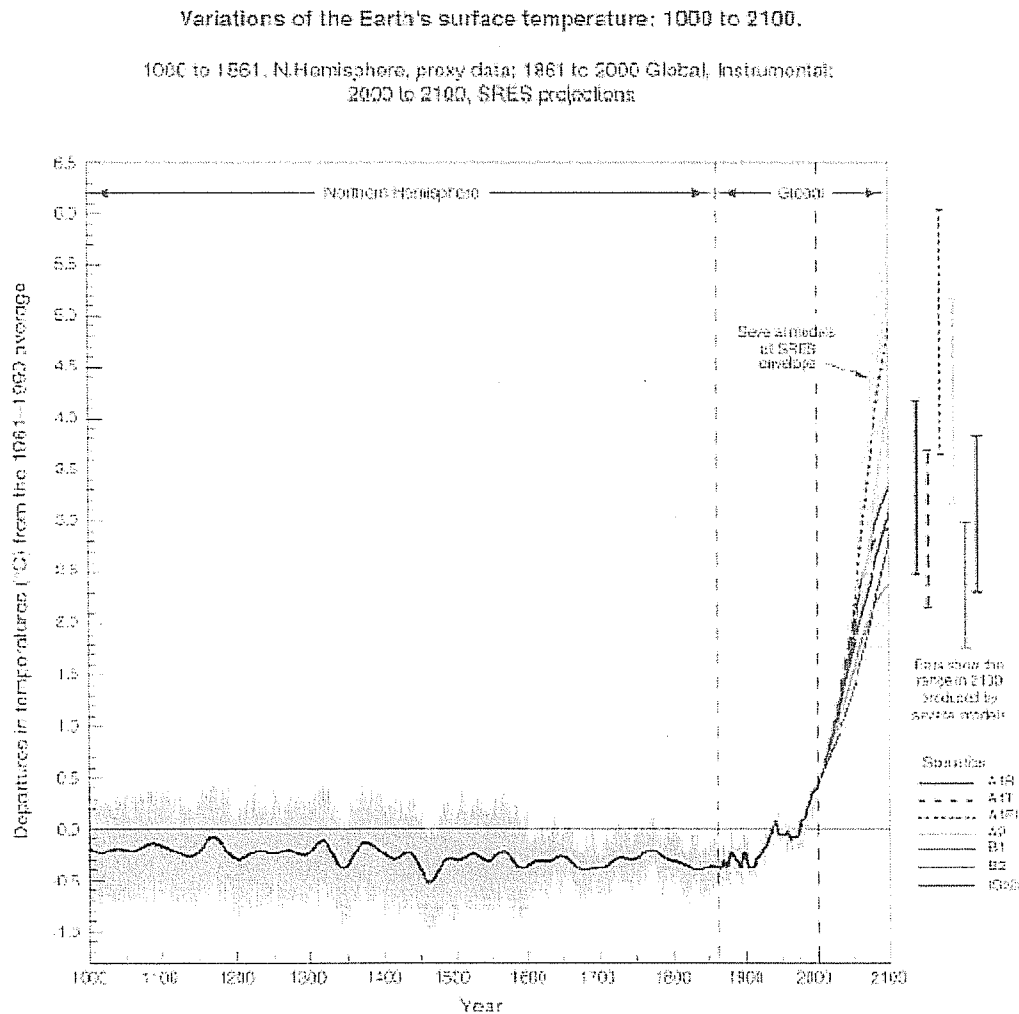
| Indicator | Observed |
|---|---|
| Atmospheric concentration of CO ₂ | 280±6 ppm (1000-1750), now 368 ppm |
| Atmospheric concentration of CH ₄ | 700±60 ppb (1000-1750), now 1750 ppb |
| Atmospheric concentration of N ₂ O | 270±10 ppb (1000-1750), now 316 ppb |
| Global mean surface temperature | +0.6±0.2°C (1861 - 2000), with land areas warming more than the oceans (very likely) |
| Northern hemisphere temperature | 20 th century temperature increase greater than any other century during the last 1000 years (likely) |
| Diurnal temperature range | Decreased, with night-time minimum temperatures increasing at twice the rate of day-time maximum temperatures |
| Hot days/heat index | Increased (likely) |
| Global mean sea level | +10-20 cm from 1860 - 2000, with regional variations |
| Ice cover of rivers and lakes | Decreased duration by about two weeks in mid- and high latitudes of the northern hemisphere (very likely) |
| Arctic sea ice extent and thickness | Thinning (likely) and decreasing extent in spring and summer |
| Non-polar glaciers | Wide-spread retreat |
| Snow cover | 10% decrease since 1960s (very likely) |
| Permafrost | Thawing |
| Continental precipitation | Increased in the northern hemisphere (very likely) |
| Heavy precipitation events | Increased at mid- and high northern latitudes (likely) |
| El-Nino phenomena | More frequent, persistent and intense during the last 20-30 years compared to the previous century |
| Terrestrial biospheric carbon exchange | Net source of about 30 GtC between 1800 and 2000. During the 1990s a net sink of carbon about 1.4 GtC/yr (emission of about 1.6 GtC/yr from tropical deforestation and a global sink of about 3.0 GtC/yr) |
| Growing season | Lengthened by about 1-4 days per decade in Europe between 1959 and 1993 |
| Plant and animal ranges | Shifts, poleward and up in elevation, in plants, insects, birds and fish |
| Breeding, flowering and migration | Earlier plant flowering, earlier bird arrival, earlier dates of breeding season, emergence of insects in the northern hemisphere |
| Disturbances | Increased wild fires, blow-downs and pests |
| Coral reef bleaching | Increased, especially during ENSO events |

Table 1: Observed Changes in the Earth's Biophysical Systems Relevant to Climate Change

The global-average surface temperature has increased from the 1860s to 2000 by about 0.6 degrees C, with a 95% confidence range of 0.4 - 0.8 Centigrade. New analyses indicate that this increase in temperature during the 20th century is likely to have been the largest of any century during the past 1000 years for the Northern Hemisphere, as indicated by Figure

2-3. It is further likely that the 1990s was the warmest decade of the past 1000 years. On average, nighttime daily minimum temperatures over land have increased by about 0.15°C per decade, about twice the corresponding rate of increase in daytime maximum air temperatures. This increase has lengthened the freeze-free season in many mid- and high-latitude regions. (WG1/2).

1 Figure 4
2



In the lowest 8 km of the atmosphere the global temperature increase since the 1950s, about 0.1°C per decade, has been similar to that at the surface. More recently, since 1979 both satellite and weather balloon measurements show that this global-average lower-atmosphere temperature has increased by 0.05°C per decade while that at the surface increased by 0.15°C per decade, a difference in short-term warming rates that is statistically significant. Although stratospheric ozone depletion, atmospheric aerosols, the El Niño phenomenon, and spatial sampling techniques can explain some of this difference in trends, these differences are not fully resolved (WG1/2).

There is new and stronger evidence that most of the warming observed over the last 50 years is attributable to human activities. *The observed warming over the past 100 years is unlikely to be natural in origin.* The warming over the last 100 years is very unlikely to be due to internal variability alone as estimated by current models. Reconstructions of climate data for the last 1000 years also indicate that this warming was unusual and unlikely to be the response to natural forcing alone (i.e. volcanic eruptions and variation in solar output): these do not explain the warming in the latter half of the twentieth century as shown in Figure 2-4a, but they may have contributed to the observed warming in the first half of the twentieth century.

In the light of new evidence and taking into account the remaining uncertainties, most of the observed warming over the last 50 years is likely to have been due to the increase in greenhouse gas concentrations. Detection and attribution studies consistently find evidence for an anthropogenic signal in the climate record of the last 30-50 years, despite uncertainties in forcing due to anthropogenic aerosols, cloud feedbacks, and other natural factors. The sulfate forcing, while uncertain, is negative over this period and therefore cannot explain the warming. Changes in natural forcing during most of this period are also estimated to be negative and are unlikely to explain the warming (Figure 2- 4a). Most of the model estimates that take into account both greenhouse gases and sulfate aerosols are consistent with observations over the last 50 years. The best agreement between model and observations over the last 140 years has been found when all the above anthropogenic and natural forcing factors are combined as shown in Figure 2-4b. These results show that the forcings included are sufficient to explain the observed changes, but do not exclude the possibility that other forcings may also contribute. The effects of other anthropogenic factors (e.g., organic carbon, black carbon, and biomass aerosols, and land-use changes) have not been included in detection and attribution studies because, individually, their global effects are estimated to be relatively small.

Some other observed changes are consistent with anthropogenic climate change in that the direction of the observed change is the same as in model projections forced with increasing greenhouse gases. Most of these changes are regional rather than global scale, and hence it is more difficult to distinguish and formally attribute them to the global human influence rather than to internal variations, natural forcings, or regional human activities. For example, most non-polar glaciers have been in general retreat in parallel with regional warming and consistent with global warming but have not been formally attributed (WG2/4.3).

Changes in sea level, snow cover, and ice extent are consistent with a global-scale warming.

It is very likely that the 20th century has contributed significantly to the observed rise in global-average

sea level and increase in ocean heat content. Warming drives sea-level rise through thermal expansion of sea water and widespread loss of land ice. Based on the few, very long, tide gauge records, the average rise was between 0.1 and 0.2 meters during the 20th century was less during the 19th century, see Figure 2-5. No significant acceleration in the rate of sea level rise during the 20th century has been detected, and , within present uncertainties, this is consistent with models. (WG1/11).

Snow cover and ice extent have decreased. It is very likely that the extent of snow cover has decreased about 10% since the late 1960s and that the annual duration of lake- and river-ice cover in the mid- and high-latitudes of the Northern Hemisphere has been reduced by about two weeks over the 20th century. There has been a widespread retreat of mountain glaciers in non-polar regions during the 20th century. It is likely that Northern Hemisphere spring and summer sea-ice extent has decreased by about 10 to 15% since the 1950s and that Arctic sea-ice thickness has declined by about a 40% during late summer and early autumn in recent decades. There has been a considerably slower decline in winter sea-ice thickness. Regional warming in the Antarctic Peninsula has led to the retreat of five ice shelves over the last century, including collapse of the Prince Gustov and parts of the Larsen Ice shelves during the 1990s. (WG1/2).

Precipitation has very likely increased during the 20th century by 5 to 10% over most mid- and high-latitudes of the northern hemisphere continents and by 2 to 3% over most tropical land areas. See Figure 2-7. It is likely, however, that precipitation has decreased during the 20th century over much of the land from 10° N to 30° N latitude. There has likely been a 2 to 4% increase in the frequency of heavy precipitation events in the mid- and high-latitudes of the Northern Hemisphere over the latter half of the 20th century. There were relatively small long-term increases over the 20th century (1900-1995) in global land areas experiencing severe drought or severe wetness, but in many regions, these changes are dominated by inter-decadal and multi-decadal climate variability such as the shift in ENSO towards warm events. (WG1/TS, Sec. B.2 and B.6)

Changes have also occurred in other important aspects of climate, such as:

- The regional patterns of the warming that occurred in the early part of the 20th century are very likely different than those that occurred in the latter part

The largest increases of temperature have occurred over the mid and high latitudes of the continents in the Northern Hemisphere. Regional temperature trends over a few decades can be strongly influenced by regional variability in the climate system and can depart appreciably from a global average. As described below, statistically significant associations between changes in regional climate and observed changes in biological systems have been documented in freshwater, terrestrial, and marine environments on all continents. (WG1/TS, Sec. B.1, and WG2/TS, Sec. 7.1)

- Warm episodes of the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon have been more frequent, persistent, and intense since the mid-1970s, compared with the previous 100 years. ENSO consistently affects regional variations of precipitation and temperature over much of the tropics, sub-tropics and some mid-latitude areas, and its frequency of occurrence may or may not change with greater global warming (WG1/2)

- Some important aspects of climate appear not to have changed. A few areas of the globe have not warmed in recent decades, mainly over some parts of the Southern Hemisphere oceans and parts of Antarctica. No significant trends of Antarctic sea-ice extent are apparent since 1978, the period of reliable satellite measurements. Changes globally in tropical and extra-tropical storm intensity and frequency are dominated by inter-decadal to multi-decadal variations, with no significant trends evident over the 20th century. Current

analyses are unable to draw conclusions about the likelihood of changes in storm activity or in the frequency of tornadoes, thunder days, or hail events for the limited regions that have been studied. (WG1/Ch2)

Regional climate changes over the past 50 years have impacted biophysical systems and there are indications of social and economic costs.

Available observational evidence indicates that regional changes in climate, particularly increases in temperature, have already affected a diverse set of physical and biological systems in many parts of the world.

- There has been a discernible impact of regional climate change on biological systems in the 20th

century. In many parts of the world the observed changes in these systems are consistent in direction, and are coherent across diverse localities, with the expected effects of regional changes in temperature. Such systems include, for example, species distributions, population sizes, and the timing of reproduction or migration events (WG2, 5.4, 11.2). These observations implicate regional climate change as a prominent contributing causal factor (WG2).

- There have been observed changes in the types (e.g. fires, droughts, blowdowns), intensity and

frequency of disturbances which are affected by regional climatic change and they in turn affect the productivity of, and composition of species within an ecosystem, particularly at high latitudes and high altitudes (WG2/ 5.2.1, 13.2.1.4, 16).

- Frequency of pests and disease outbreaks have also changed especially in forested systems and can be linked to changes in climate (WG2, 5.2, 5.3.4.1, 5.5, 5.6, 5.9, 15.2). However, there are some positive aspects of warming, for example, across Europe, the growing season has lengthened by 10.8 days from 1959 to 1993) (WG2/ 5.2.1, 16.1.3.1).

- In some regions of Africa, the combination of regional climate changes (ENSO, Sahelian drought) and anthropogenic stresses has led to decreased cereal crop production since 1970 (WG2/10).

Coral reefs are impacted detrimentally with rising sea surface temperatures. Increasing sea surface temperatures have been recorded in much of the tropical oceans over the past several decades. Many corals have undergone major, although often partially reversible, bleaching episodes when sea surface temperatures have exceeded the seasonal maximum by 1°C. Extensive mortality occurred when sea surface temperatures exceeded the seasonal maximum by 2°C over several months often during El Niño events. These bleaching events are often associated with other stresses such as pollution (WG2, 6.4.5, 17.4.2.4.1).

Changes in marine systems, particularly fish populations, are clearly linked to large-scale climate shifts. The inter-decadal ENSO affects fisheries on the west coasts of South America and Africa (WG2/10.2.2.2, 14.x) and the decadal Pacific oscillation is linked to decline of fisheries on the west coast of North America (WG1/2.6.3, WG2/15.2.3.3).

Changes in stream flow, floods, and droughts have been observed. Evidence of regional climate-change impacts on elements of the hydrological regime is likely consistent with modeled responses to a global warming and intensification of hydrological cycle. (WG2/19.2.2.1) Peak stream flow has shifted from spring to late winter in large parts of eastern Europe and European Russia and North America in the last decades. (WG2/4.2.6). The recent increasing frequency of droughts and floods in some areas (WG2/SPM) are dominated by decadal variations in climate (WG2, 4.3, 10.2).

Extreme weather or climatic events cause substantial damage. Extreme events are currently a major source of climate-related impacts (WG2/12.1) and are likely to become more frequent and/or intense under global warming, for example, heavy losses of human life, property damage, and other environmental damages were recorded during ENSO of 1997-98. (WG2/14) The impacts of climatic extremes and variability are a major concern, and the uneven impacts of climatic hazards raise concerns for development and equity (WG2/8).

The socio-economic costs related to weather damage and to regional changes in climate are evidence of increasing vulnerability to global climate change. *Extreme climatic events cause increasing damage, which cannot be fully explained by socio-economic factors alone.*

The direct cost of global weather-related catastrophe losses has risen 10-fold from the 1950s to the 1990s. These costs are twice as large when "ordinary" (non-catastrophic) weather events are included. Increased losses over the past 50 years that are related to precipitation (e.g. flood, hail, land subsidence (WG2, Fig. 8-1, 8-3)) cannot be fully explained by inflation, demographic change, and/or increases in insured value. The number of weather-related catastrophe events have risen three times faster than those of non-weather-related events, despite generally enhanced disaster preparedness (WG2, Fig. 8-1).

Climate-related health effects are observed. Heat waves in Europe and North America were associated with a significant increase in urban mortality (WG2/13.2.5.1). Changing rates in physical injury, disease and death have been caused by extreme weather events (floods, droughts, fires, storms, and cyclones) (WG2/ 9, 13.2.5).

The fraction of weather-related losses covered by insurance varies considerably by region, with insurers paying only 5% of total economic losses today in Asia, 10% in Africa, versus 20% in North America and 30% in Europe.

The recognition and anticipation of adverse impacts of climate change has led to both public and governmental responses that have altered economies.

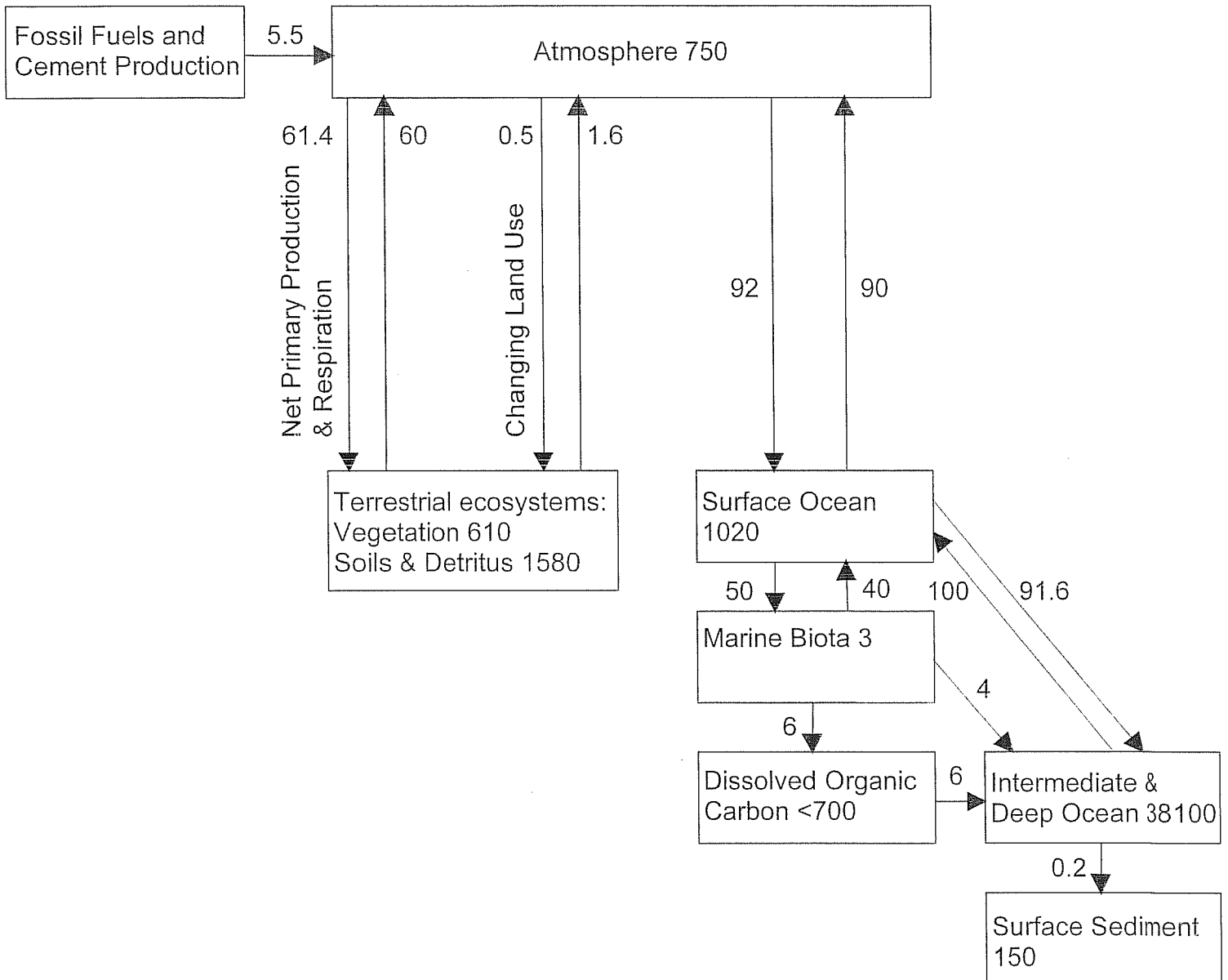
Socioeconomic and policy responses to anticipated changes in the climate system have included various initiatives to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions in the last decade.

Note: These conclusions are subject to varying degrees of uncertainty.

The Global carbon cycle

Having briefly discussed the relationship between GHG and their impact on the global climate, we need to examine the specific residence and flows of the GHGs, generally covered under the term global carbon cycle. The schema below shows the distribution and magnitudes of carbon in the global system.

Fig. 1. The global carbon cycle showing the carbon stores (in Pg C) and the carbon fluxes (in Pg C year⁻¹). Redrawn after Schimel (1995).



Of specific interest here is the amount of carbon and the flows in the terrestrial biosphere. The terrestrial ecosystem has a stock of carbon estimated at about 2190 Gt C, with a slight net sink (absorption) per year, mostly due to growth of forests in middle and high altitudes. There is a net source of close to 1 Gt C due to land use change, mostly in the lower latitudes. The oceans are a sink of about 2 Gt C annually from the atmosphere, with the conveyance of about 8.4 Gt C between the surface ocean and the intermediate and deep ocean directly, and another 4 Gt C via marine biota. 6 Gt C of the conveyance from surface ocean becomes dissolved organic carbon.

Figure 3.3 below shows the partitioning of carbon in the various terrestrial ecosystems, with the bulk of vegetation carbon in Tropical forests and savannas. More than two thirds of the terrestrial ecosystem carbon is in soils, a pool which turns over much more slowly than the vegetation carbon. The carbon pools have varying degrees of turnover though this may be exacerbated by climate change See figure 5 below.

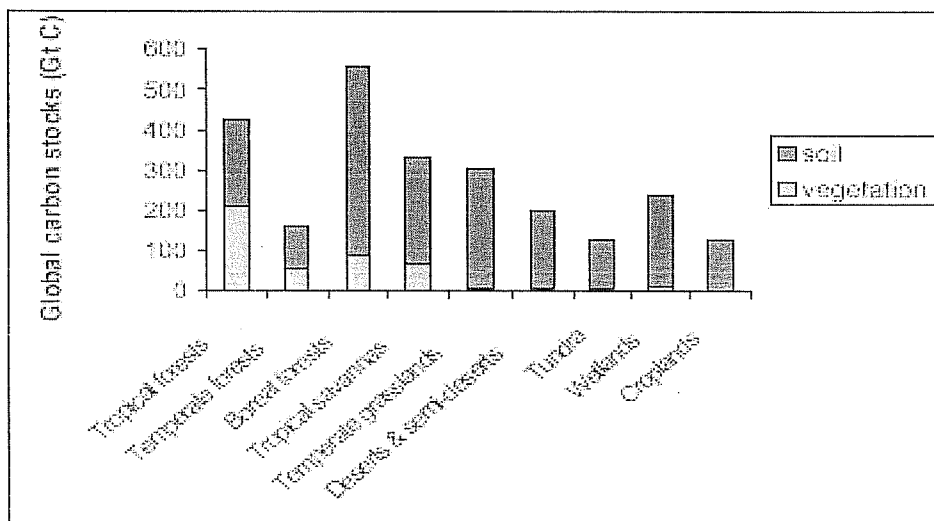


Figure 3.3: Estimated carbon stocks in terrestrial systems. The soil carbon stock in the boreal systems is large and vulnerable to climate change and disturbances often mediated through especially regional climate change (data from WG1, Table 3.2).

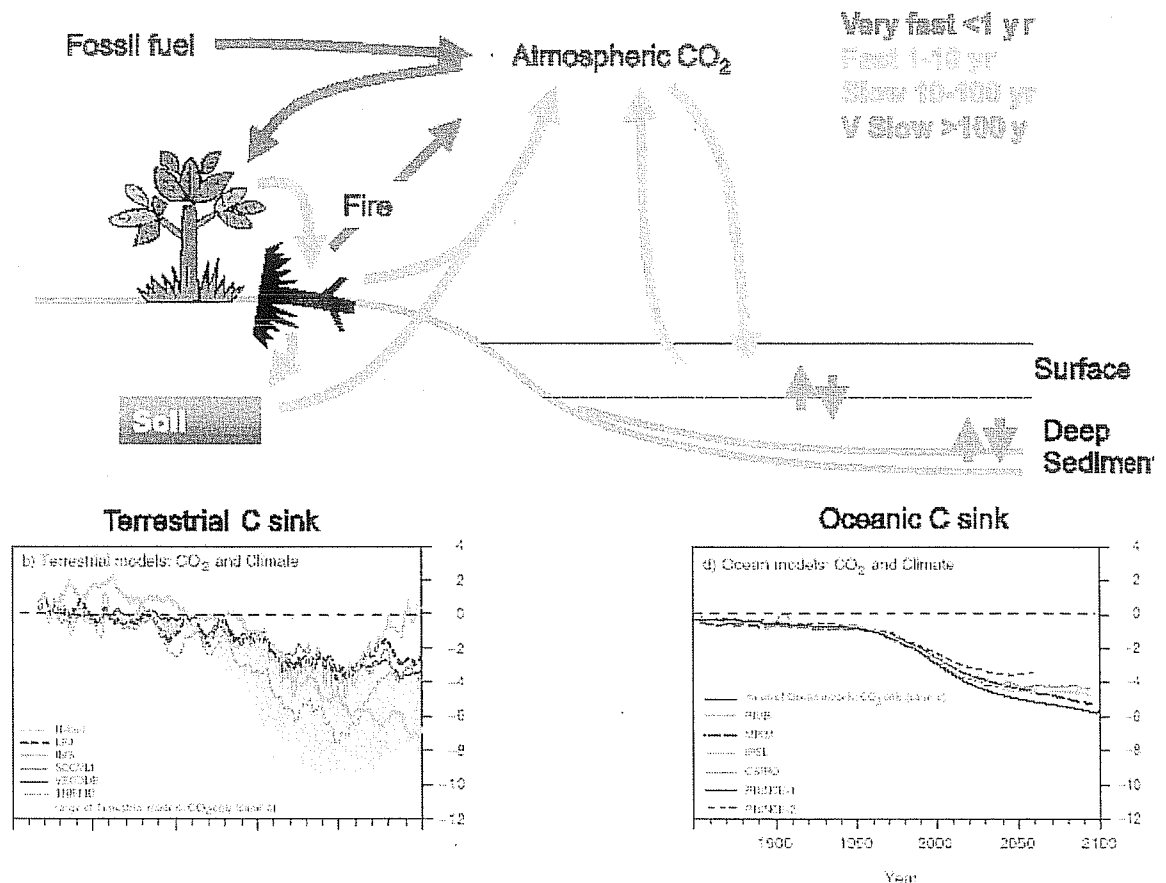


Figure: Carbon pools and their turnover rates and simulated net terrestrial and ocean fluxes between 1900 and 2100.

1.2 Intervention (Adaptation and Mitigation)

As mentioned above, Carbon dioxide concentrations, globally averaged surface temperature and sea level are projected to increase under all IPCC scenarios during the next century. Emission reductions can reduce the magnitude and rate of climate change and sea level rise. The timing of these actions are necessitated by the existence of significant inertia in the climate system. For example:

(i) *The effects of reductions in emissions, such as those embodied in the Kyoto Protocol, or onto a concentration stabilization path, accumulate with time to slow the rates of warming and sea level rise.* Reductions in carbon dioxide emissions have a relatively small effect on its atmospheric concentration or on global mean surface temperature and sea level for the first few decades of implementation because of its long atmospheric lifetime. But the effects of emission reductions can accumulate over time to decrease projected warming by a substantial fraction by 2100.

(ii) *Stabilization of carbon dioxide concentrations at all levels considered in the TAR (450 ppm - 1000 ppm) can only be achieved by substantially reducing in global emissions below current levels.* Carbon cycle models indicate that stabilization of atmospheric

concentrations at 450 ppm, 650 ppm or 1000 ppm would require global anthropogenic emissions to decrease to below 1990 levels, within a few decades, about a century, or about two centuries respectively, and to continue to decrease steadily thereafter.

(iii) Global mean temperature and sea level will continue to rise for hundreds of years after stabilization of greenhouse gas concentrations. Long-term, global mean temperature is projected to increase by about 1.5 to 9 o C and sea level to rise by between 0.5 to more than 10m (at equilibrium) for stabilization of carbon dioxide from 450 ppm - 1000 ppm.

The severity of the adverse impacts will be larger the greater the cumulative emissions of greenhouse gases and associated changes in climate. Climate change, which is an additional stress on many systems, can have beneficial as well as adverse effects. But adverse effects are projected to predominate for much of the world, particularly in the tropics and sub-tropics where most developing countries are located. Adverse effects associated with heat stress, loss of life in floods and storms and indirectly through disease vectors (e.g. mosquitoes), water-borne pathogens, water quality, air quality, food availability and quality, population displacement, and economic disruption are much more severe on poor and developing countries than the more affluent.

These factors necessitate actions in both mitigation and adaptation (since climate change is already under way) to be undertaken concomitantly. Mitigation constitutes those activities and or policies which reduce the accumulation of GHG in the atmosphere, whereas adaptation constitutes of those actions and policies which alleviate the adverse impact on socio-economic and biospheric systems. In the land use sector, may involve the adoption of different pathways of resource management each of which can lead to an increased biospheric carbon storage compared to the reference scenario (see Fig 6 and 7 below).

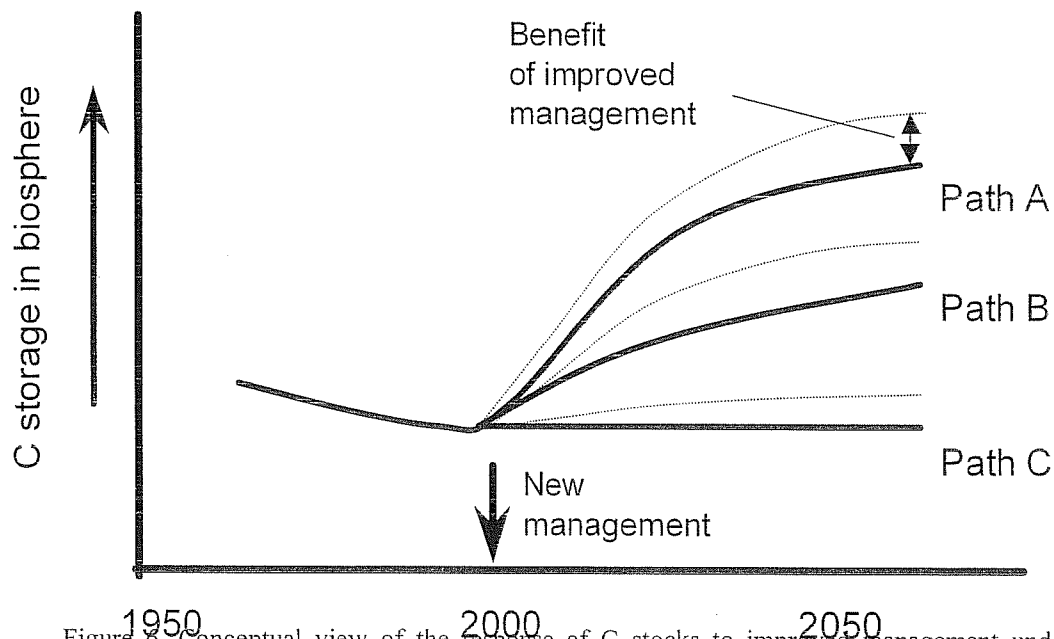


Figure 6. Conceptual view of the response of C stocks to improved management under three prospective scenarios

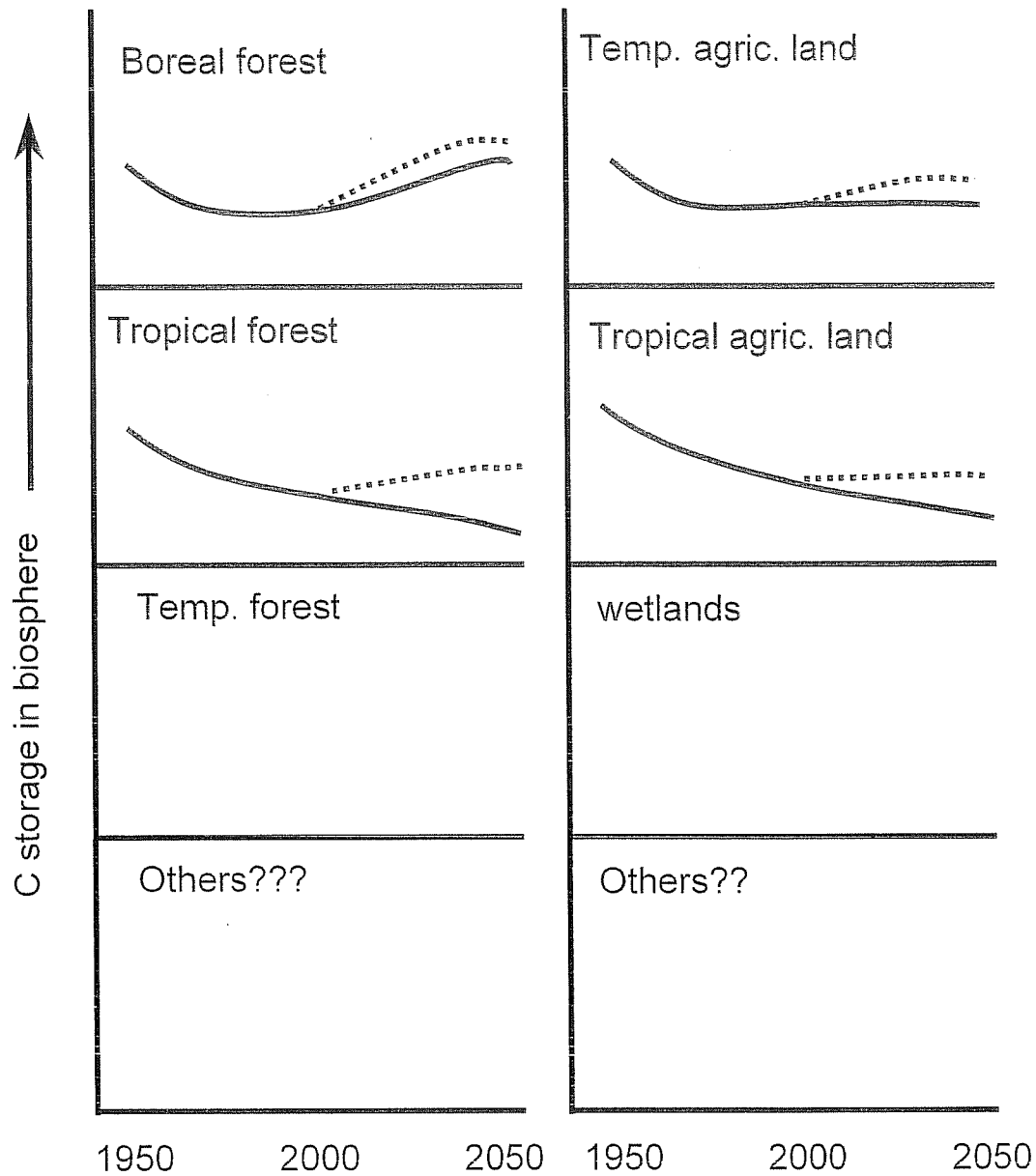


Figure 2. Conceptual view of the possible response of C stocks in various terrestrial systems to improved management.

Adaptation will involve both pre-emptive (defensive) actions and policies as well as reactive measures in the areas where adverse impacts are likely going to be experienced. In the land use sector, these may include landscape stabilization by using vegetative cover or physical barriers in extremely vulnerable landscapes, as well as introduction of (changed climate) appropriate species such as drought resistant crops in drought prone areas, etc. Both mitigation and adaptation will be undertaken in light of the socio-economic constraints faced by the country/community.

1.3 Climate change in Central America:

Contribution of Central America as a cause of climate change

The Central American countries in this program (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panama and Belize) occupy a land area of about 51 million hectares,

of which about 40 percent is under forest cover. With an approximate above ground biomass estimated at about 3.5 billion tonnes, the total stock of terrestrial carbon would be about 5 Gt C assuming similar same proportions of vegetation and soil carbon found in the rest of the tropical biome. The rate of loss of terrestrial carbon will therefore be commensurate with the rate of use of forest resources as well as conversion of forestland to other land uses. Indeed, the extent to which the region can participate in climate change mitigation depends on the extent to which forests would be lost in the reference case (baseline) and the utilization of any existing potential to increase the carbon density on land through reforestation, afforestation, land aggregation, etc.

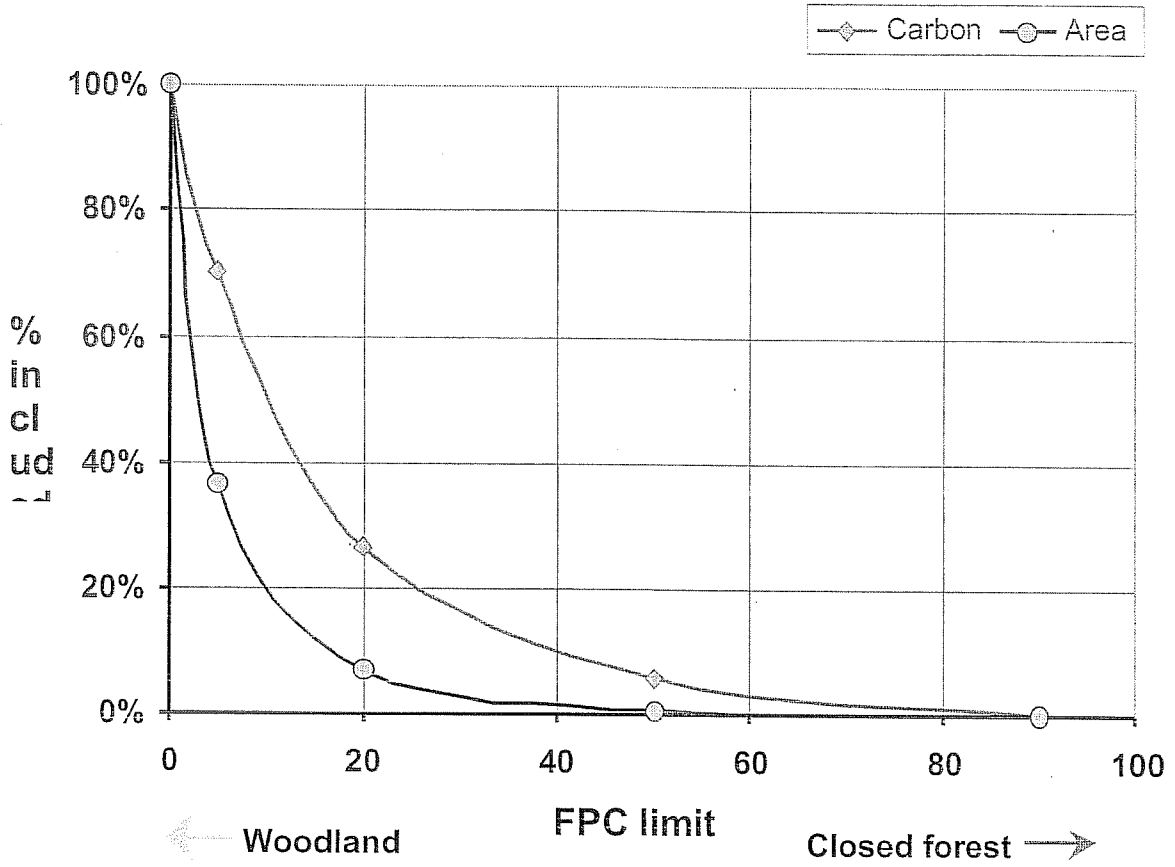
Central America is much more vulnerable to climate change compared to most other regions of its size, mainly because of the natural endowments the region is blessed with. Severe climatic events such as floods, a phenomenon of increasing unwelcome frequency in the region as well as rise in temperature and sea water rise put at risk a large portion of the natural systems, including bio-diversity.

2 Forests and climate change: Science

2.1 Definitions

In order to clearly understand the interaction of land use, land-use change and forestry with climate change, we need to be clear on the meanings of the terms being used. Many terms in forestry, including the term "forest" itself have been used to mean different things to different people, depending on the basis and purpose upon which the definition is derived, whether land cover based (% crown cover), administrative or legal jurisdiction, or intended use (logging). For example, depending on the threshold chosen, a country's forest area and therefore carbon stock would be quite variable (see figure 3.2a below).

Carbon captured by a dominant tree species
Australia



The IPCC LULUCF Special Report was asked to provide succinct definitions of the terms which are important in understanding the role of forestry in climate change so as to assist the implementation of relevant decisions and policies such as the Kyoto Protocol. The functional terms were defined (IPCC, 2000 LULUCFSR Chp 3) and the implications of varying definitions on carbon stocks and fluxes were elucidated.

At its Bonn meeting in 2001, the COP adopted the following definitions, modalities, rules and guidelines relating to land use, land-use change and forestry activities under Articles 3, 6 and 12 of the Kyoto Protocol.

(FCCC/CP/2001/L.11/Rev.1) states that for land use, land-use change and forestry activities under Article 1 3.3 and 3.4, the following definitions shall apply:

(a) "Forest" is a minimum area of land of 0.05-1.0 hectares with tree crown cover (or equivalent stocking level) of more than 10-30 per cent with trees with the potential to reach a minimum height of 2-5 meters at maturity in situ. A forest may consist either of closed forest formations where trees of various storeys and undergrowth cover a high proportion of the ground or open forest. Young natural stands and all plantations which have yet to reach a crown density of 10-30 per cent or tree height of 2-5 meters are included under forest, as are areas normally forming part of the forest area which are temporarily unstocked as a result of human intervention such as harvesting or natural causes but which are expected to revert to forest;

(b) "Afforestation" is the direct human-induced conversion of land that has not been forested for a period of at least 50 years to forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources;

(c) "Reforestation" is the direct human-induced conversion of non-forested land to forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources, on land that was forested but that has been converted to non-forested land. For the first commitment period, reforestation activities will be limited to reforestation occurring on those lands that did not contain forest on 31 December 1989;

(d) "Deforestation" is the direct human-induced conversion of forested land to non-forested land;

(e) "Revegetation" is a direct human-induced activity to increase carbon stocks on sites through the establishment of vegetation that covers a minimum area of 0.05 hectares and does not meet the definitions of afforestation and

reforestation contained here:

(f) "Forest management" is a system of practices for stewardship and use of forest

land aimed at fulfilling relevant ecological (including biological diversity), economic and social functions of the forest in a sustainable manner.

(g) "Cropland management" is the system of practices on land on which agricultural

crops are grown and on land that is set aside or temporarily not being used for crop production;

(h) "Grazing land management" is the system of practices on land used for livestock

production aimed at manipulating the amount and type of vegetation and livestock produced.

Other common terms in this area which were defined in the LULUCF Special Report are:

"Source" refers to a carbon pool or reservoir which has a net emission of GHG into the atmosphere

"Sink" refers to any mechanism or process which removes a GHG, a n aerosol or a precursor of a GHG from the atmosphere. A given pool or reservoir can be a sink for atmospheric carbon if in any given interval, more carbon is flowing into it than flowing out.

"Sequestration" refers to the absorption and storage of carbon from the atmosphere and keep it away for a period relevant for carbon accounting.

2.2 Carbon cycle in forests (stocks and flows of carbon in the main ecosystems; components of the carbon balance in such ecosystems)

Terrestrial ecological systems, which contain carbon in various compartments of living biomass and soils, play a critical role in the global carbon cycle. Carbon is exchanged between the biosphere and the atmosphere by natural processes. In addition, humans exert a significant influence on the carbon pools and on the carbon fluxes through land use and land use changes. Deforestation contributes a net source in the tropics comprised between 0 and 2 Gt C yr⁻¹, while forest re-growth induces a sink on the order of 0 to 1 Gt C yr⁻¹. Atmospheric observations of carbon dioxide have been used to estimate that the global net flux of carbon between the terrestrial biosphere and atmosphere has been almost neutral over the 1980's and is a sink of 0.7 ± 1 Gt C yr⁻¹

during the 1990s compared to a fossil fuel release of 6.1 Gt C yr⁻¹.

The recent character of northern forests as sinks is rooted in the historical deforestation of the vast forest lands in the last 2 millennia which are just starting to recover (see area change figure).

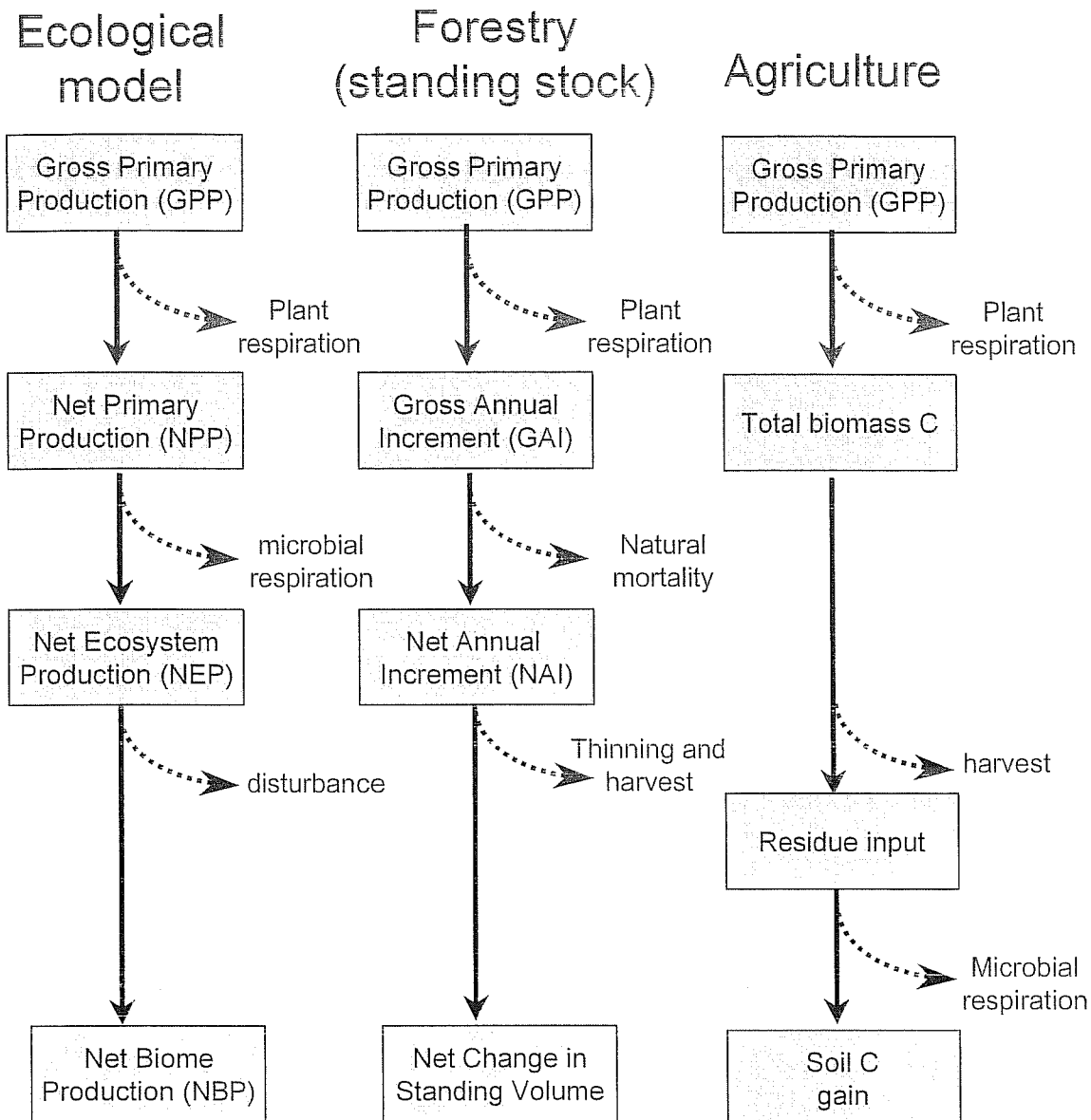


Figure 3.2b Ecological concepts of gross primary production, net primary production, net ecosystem production and net biome production, and corresponding terminology in forest and agricultural ecosystems.

An important sink which need to be well studied is the carbon on forest products. The Table 2 below shows the significant amounts of carbon which is stored in this pool in several key regions.

Table 2 . The carbon store of woody biomass in the Temperate and Boreal Region

| Region | Forest and other wooded land | | | | | Area, Mha | Forest | | | | |
|----------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|---|-----------|--------------------------|---------------------------|---------|--------------|--------------------------------|
| | Woody biomass, Pg C | Woody biomass, % total | Above stump of biomass, Pg C | Stump and root biomass, Pg C | Biomass above stump, % of all woody biomass | | Woody biomass, tn C ha-1 | Above stump biomass, Pg C | % total | of Area, Mha | Above stump biomass, tn C ha-1 |
| Europe | 8.3 | 11 % | 7.0 | 1.3 | 84 % | 215 | 38.7 | 6.8 | 11 % | 176 | 38.5 |
| Of which EU 15 | 5.0 | 6 % | 4.2 | 0.8 | 84 % | 136 | 36.5 | 4.1 | 7 % | 113 | 35.8 |
| CIS | 29.3 | 38 % | 23.6 | 5.7 | 80 % | 934 | 31.4 | 22.5 | 38 % | 856 | 26.3 |
| North America | 30.3 | 39 % | 26.4 | 3.9 | 87 % | 716 | 42.3 | 22.0 | 37 % | 462 | 47.7 |
| Asia Pacific | 8.9 | 12 % | 7.8 | 1.1 | 88 % | 191 | 46.5 | 7.8 | 13 % | 189 | 41.1 |
| Total | 76.8 | 100 % | 64.8 | 12.1 | 84 % | 2056 | 37.4 | 59.1 | 100 % | 1682 | 35.1 |

3.1 The carbon store of woody biomass

The carbon store of woody biomass on the forest and other wooded land in the TBFRA region at the time of the inventory was 77 Pg (Table 1). As much as 39 % of this total store was found in North America, 38 % in CIS countries, 12 % in Asia Pacific region and 11 % in Europe. Considering individual countries, the largest store was in Russia, 28 Pg or 36 %, second largest in the USA, 18 Pg or 24 %, and third largest in Canada, 12 Pg or 15 % (Appendix table B). The store in these three countries represented 76 % of the total.

The woody biomass above stump on forest and other wooded land contained 65 Pg carbon which was 84 % of the total store (Table 1). This proportion varied from 80 to 88 % between the regions.

On forest, excluding other wooded land, the carbon store of the woody biomass above stump was 59 Pg (Table 1). This is 9 % less than the carbon store above stump on forest and other wooded land. The area of forest was 18 % smaller than the area of forest and other wooded land.

Per unit land area, the carbon store of the woody biomass on the forest and other wooded land averaged 37 tn ha-1 (Table 1). It varied between the regions from 31 tn ha-1 in CIS countries to 47 tn ha-1 in Asia Pacific region. Considering individual countries, the carbon store per unit area was highest in European countries, 163 tn ha-1 in Malta, 148 tn ha-1 in Austria, 114 tn ha-1 in Switzerland and 101 tn ha-1 in Slovenia (Appendix table B). In the three countries containing the largest total store, the carbon store per unit area was about twice as large in the USA, 62 tn ha-1, as in Russia, 32 tn ha-1, and Canada, 29 tn ha-1.

• Deforestation and degradation = a cause of climate change

In the lower latitudes, especially in tropical regions (including Central America), the bulk of emissions originate from deforestation and degradation. The main driving factors in tropical deforestation and degradation are conversion of forests to agriculture and pasture, harvesting wood products (woodfuel and timber), infrastructural development such as roads, habitats, dams, and other causes such as mining and forest fires. See an example of the attribution from some few tropical countries shown below.

**Table IV. Estimated Contribution of Major Conversion Activities to Deforestation and Logging^a (%),
Base Year^b**

| Conversion Activity | Country | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|-----------|--------|----------|----------|
| | Brazil ^c | China | India | Indonesia | Mexico | Tanzania | Thailand |
| Agriculture | 10 | 16 | 63 | 83 | 13 | 45 | 59 |
| Pasture | 72 | 0 | 21 | 0 | 49 | 15 | 6 |
| Harvesting ^d | 8 | 77 | 12 | 9 | 4 | 37 | 26 |
| Other | 10 | 7 | 4 | 8 | 34 | 4 | 10 |
| Total ^e | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 101 | 101 |

- Notes:*
- a. The shares for Mexico do not include logging activities. Other refers to areas lost through forest fires.
 - b. Shares for Malaysia are not available.
 - c. Refers only to those forests (and *cerrados*) located in the Legal Amazon region. Logging is excluded from these shares (taken from Browder (1988)).
 - d. Areas under selective cutting are adjusted according to the intensity of biomass removal.
 - e. Numbers do not add up to 100% due to rounding.

Methods and Models to estimate carbon stock, flows and key parameters in forests

Table 3.2: Characterization of Appropriate Methods for Estimating Changes in Carbon Stock (IPCC, 2000)

| Method/ Model type | Scale of applicability | Time span | Parameter assessed | Suitable to monitor ARD activities | Applicable when ARD definitions are chosen | Suitable to monitor soils and additional activities * | Suitable for full accounting | Sampling density | Costs | Accuracy | Verifiability |
|-----------------------|---------------------------|------------|--|------------------------------------|--|--|------------------------------|---|--|---|--------------------------------|
| Forest Inventory | 0.01 - 10 ⁹ ha | 1 - 100 yr | Above ground stemwood volume and increment, harvesting and mortality. Derived from this whole tree biomass | Yes | Yes, provided forest definitions are adapted | Mainly specific measures which have an impact in the forest C stock like thinning, fertilization etc | No, usually excludes soils | Project basis: 400 plots on 5000 ha. In national scale inventory 1 plot represents 1000 ha | 0.05 - 0.2 US\$/ ha in national scale inventory 11-18 US\$ at projects levels (10,000's ha) | Area: s.e. = 0.4% Growing stock: s.e. 0.7% Increment: s.e. = 1.1% (Tomppo 1996) | easy |
| Flask measurements | - 10 ⁹ ha | Decades | Atmospheric CO ₂ concentration | No | No | No | No, excludes wood products | At the moment about 80 sites in the Northern hemi-sphere | ? | The sample analysis is very accurate | Verification the analysis easy |

| Eddy flux | - 100 ha | Day - 3 yr | NEE (by compartment) | Yes, as cross verification | Yes, as cross verification | Yes, as cross verification | No, excludes harvesting and decay of wood products | Required sampling density to obtain a large area representative flux must still be determined | 100,000 US\$ per site initial costs, 100,000 US\$ per yr running costs | 10 - 20% se ? | Easy through forest invent-to data ; soil analyses |
|---------------|--------------------------|--------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|--|--|--|--|
| Soil analyses | 0.1 - 10 ³ ha | 10 - 1000 yr | SOM → C and changes over time | yes | Yes | Yes | Assesses one compartment only | Depending on soil heterogeneity appr. 300 sample points per 10000 ha. One sample for every 10 cm depth | 0.3 sample per ha 1 US\$/ha | 30% error of total estimate due to upscaling however analysis per sample very accurate | easy |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|--|----------------------------------|--|---|---|--------------------------------------|---|--|-----------------------------|
| Satellite Remote sensing | 0.05 - 10 ⁹ ha | Day - decades | Area (sometimes derived biomass and NPP estimates), also area of e.g. disturbances like fire | Yes | Yes, provided resolution can deal with it | Suitable to monitor fire management. In general: all area related parameters of non-ARD | No, mainly to assess areas | Integral coverage through pixel size | 0.0002 US\$ per ha for the picture and same amount for labour process picture. Aircraft derived pictures are more expensive | Accurate for area (1.5%) assessments, biomass more uncertain | Easy with ground truth data |
| Eco-system modelling | 0.1 - 1 ha | Day - 100's years | NPP, NEE per compartment | When validated with on site data | Yes, provided the model can be parametrised with new forest data | Yes, when management activities can be modelled. | Yes, if all components of C cycle are included in model | Usually integral coverage. | Cheap once the model is developed | Uncertain - subject to many assumptions | Difficult long term |
| Biome models | Grid - 10 ⁹ ha | Day - 100's years | NPP, NEE per grid | No | No | Often soils are included in these models, management not | Yes, if all components of C cycle are included in model | Usually integral coverage. | Cheap once the model is developed | Uncertain - subject to many assumptions | hard |

* additional activities could be: low tillage, drainage of peatlands, reduced impact logging, thinning, wood products recycling

** 0.3 sample per ha stems from 300 sample points per 10 000 ha, 10 samples for each 10 cm depth.

References

Taller de Aumentar-Capacidad Región de Centroamérica Cambio Climático

16-20 de Septiembre, 2002
Turrialba, Costa Rica

La Ciencia de Cambio Climático

Entrenador: **Willy R. Makundi**
Lawrence Berkeley National Laboratory
1 Cyclotron Rd., Berkeley, CA 94720
wrmakundi@lbl.gov

1. Introducción a Cambio Climático

Artículo 2 de la Convención Marco de Cambio Climático (“Framework Convention on Climate Change”) afirma que:

“El objetivo final de esta Convención y de cualquier instrumento legal que puede adoptar la Convención de los Partes es lograr, de acuerdo con las disposiciones pertinentes de la Convención, estabilización de concentraciones de gas invernadero en el atmósfera a un nivel suficiente para prevenir intromisión antropogénico peligroso en el sistema climático. Tal nivel debe de lograrse dentro de un término suficiente para permitir que ecosistemas se adaptan naturalmente a cambio climático, para asegurar que no amenaza producción de alimentos y para dejar que desarrollo económico siga en una manera sostenible.”

Que califica como “intromisión antropogénico peligroso” es un juicio de valor determinado por medio de un proceso socio-político, tomando en cuenta asuntos como equidad y sostenibilidad. La ciencia provee información necesaria para tomar una decisión informado. No obstante, este juicio es por su naturaleza mayormente político, y no puramente científico. Tales decisiones se basan en valoración de riesgos, y resultan en selecciones de control de riesgos por los que hagan decisiones, sobre acciones y políticas.

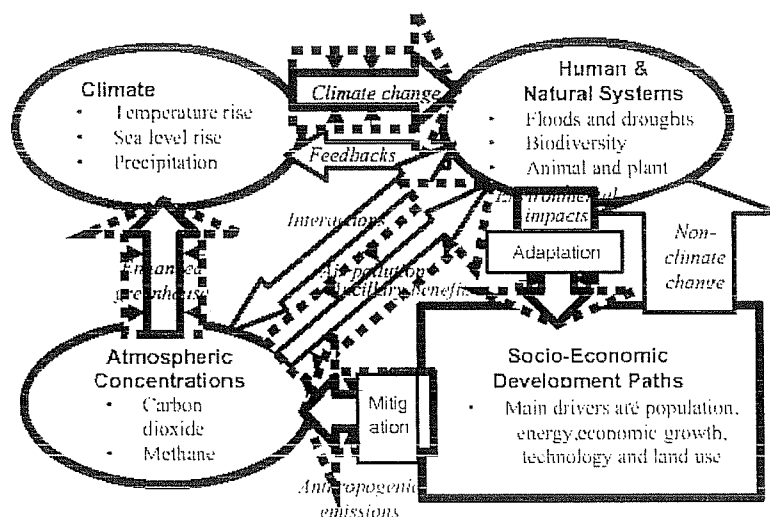
Para cualquier región del mundo, por ejemplo, Centroamérica, la base para determinar que constituye una “intromisión antropogénico peligroso” depende no solamente en la naturaleza y consecuencias del impacto de cambios climáticos, pero también en la habilidad disponible de mitigar y adaptar para poder con el cambio climático. Las resultantes clases de respuestas mitigantes y adaptativas que se van a seleccionar dependen en los costos y beneficios de varios respuestas mitigantes y adaptativas. No hay un juego de políticas mejores universales--- mas bien es importante considerar no solamente la eficacia de cada política en una variedad de mundos futuros posibles, sino también hasta que punto dichos políticas específicamente para el clima pueden integrarse con otras políticas más inclusivas de desarrollo nacional sostenible. Como tal, la cuestión de la clima es parte del asunto más grande de comprender la interacción de subsistemas complejos

sociales, económicos, y ambientales y cómo forman posibilidades para desarrollo sostenible.

Dependiendo de las diferencias entre países y regiones, selecciones claras existen para políticas de mitigación y adaptación con sus conexiones a estrategias más generales para desarrollo sostenible. Estudios (“SRES, IPCCTAR, etc.”) indican que hay diferencias apreciables entre posibles mundos futuros, y posiblemente fuertes repuestas no-lineales en cada área del ciclo ilustrado abajo en Figura 1. También indican que hay oportunidades de reducir los costos de mitigación y adaptación y realizar varios beneficios para países actuando solos o en conjunto.

29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55

Figure 1.1b: An Integrated Assessment Framework for Considering Climate Change



1.1 ¿Qué es cambio climático?

Cambio Climático es un fenómeno global de largo plazo (hasta varios siglos), y involucra interacciones complejas entre procesos climáticos, ambientales, económicos, políticos, institucionales, sociales, y tecnológicos. Como tal, cambio climático puede tener consecuencias significantes internacionales e intergeneracionales en el contexto de metas amplias de la sociedad, como equidad y desarrollo sostenible.

‘Cambio climático’, como usado por el IPCC, se refiere a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a variabilidad natural o actividad humana. Incluye cambios en la frecuencia y magnitud de acontecimientos de tiempo esporádicos tal como la subida lenta continua de la temperatura promedio de la superficie de la tierra. En este contexto, cambio climático va a incluir variaciones de tiempo y clima en todas las escalas temporales y espaciales, desde breves tempestades severas hasta los El Niños, sequías de varias décadas, y cambios en temperatura y cubierto de hielo tras siglos. A pesar de que actualmente variaciones en el clima de corto plazo son mayormente naturales, es menester considerar

sus impactos al examinar cambio climático global porque representan una clase de cambios que pueden llegar a ser más importantes en un clima futuro perturbado por actividades humanas.

(Este uso es distinto al uso en el Convención Marco de Cambio Climático (“Framework Convention on Climate Change”), en que ‘cambio climático’ refiere a un cambio de clima que se atribuye directamente o indirectamente a una actividad humana que cambia la composición del atmósfera global y que actúa en adición a variabilidad de clima natural observado tras términos de tiempo comparables.)

□ Conexiones Entre Desarrollo y Cambio Climático

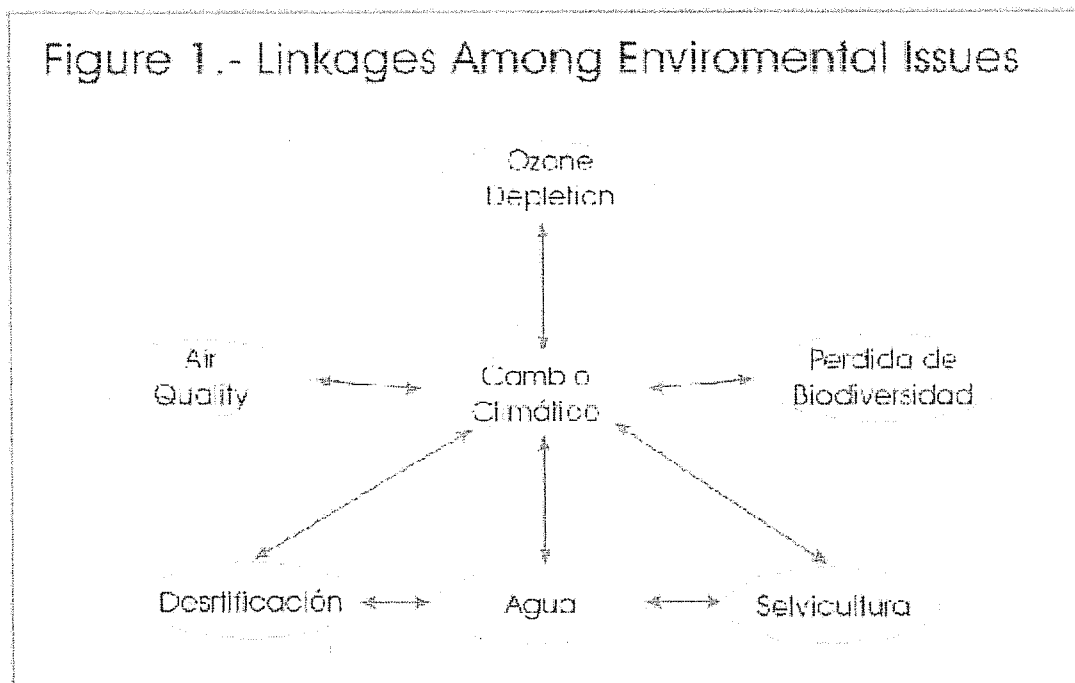


Figura 1 – Conexiones Entre Asuntos Ambientales. La clima, definido como el balance entre la energía de radiación de fuentes externos (el sol) e internos (la tierra y su atmósfera), es controlado por procesos geoquímicas y ciclos resultados de interacciones entre los componentes ambientales involucrados, como son afectados por acción humano. La figura muestra algunas de estos asuntos. Hay varios lazos de reacción en las interacciones entre clima, biodiversidad y selvicultura. Por simplicidad, flechas con dos puntos entre los asuntos representan algunas de las conexiones. Por ejemplo, procesos biológicos y ecológicos juegan un papel importante en modular el clima de la tierra en ámbito regional y global al controlar la cantidad de vapor de agua y otros gases invernaderos que entran o salen de la atmósfera. Cambios en el clima afectan las fronteras, composición y funcionamiento de sistemas ecológicos, incluyendo selvas, y cambios en la estructura y funcionamiento de selvas afecta el sistema climático del mundo a través de cambios en los ciclos bioquímicos, especialmente ciclos de carbono y nitrógeno. Hay otras conexiones, tal como la conexión entre la calidad de aire y selvicultura, directamente o indirectamente por lluvia ácida, que por simplicidad no se incluyen aquí.

Figure 2.- Linkages among food production and global environmental issues

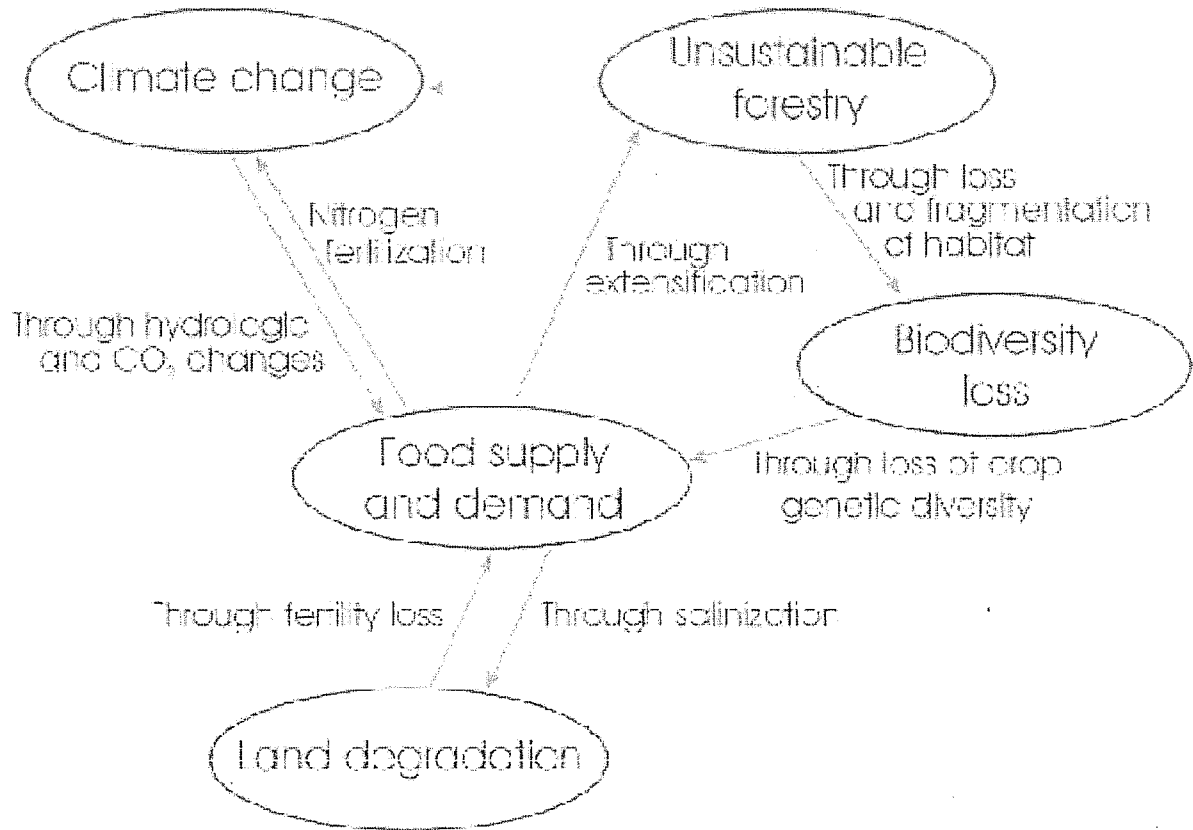


Figura 2 – Conexiones Entre Producción de Alimentos y Asuntos Ambientales Globales. Aumento en la demanda por comida debido a una población mundial creciendo explosivamente requiere más producción de alimentos. Esto trae consigo varias implicaciones para el uso de terrenos, tal como convertir áreas salvajes en terrenos para agricultura (extensificación); usando fertilizantes químicos para aumentar la cosecha (intensificación) y usar irrigación para aumentar la cosecha o para terrenos que, de no ser por la irrigación, no se podrían usar para agricultura. Aumentar la cantidad de tierras cultivadas resulta en pérdida de biodiversidad, al convertir ecosistemas a campos donde crezcan pocas especies (usualmente exóticos). El cambio de selva a agricultura lleva consigo una pérdida neta de carbón en la atmósfera, al reemplazar hierba o cultivo por los árboles. Este proceso de desmontar también aumenta la probabilidad de inundaciones, porque tierras de cultivo retienen menos agua que selva. Intensificación de producción agronómica se hace por el uso de varios tratamientos químicos, mayormente son fertilizantes nitrogenados, con el efecto secundario de soltar compuestos de nitrógeno (algunas de las cuales son gases invernaderos muy fuertes) al atmósfera, y al agua, entrando la línea divisoria de aguas, con muchas consecuencias para salud y el medio ambiente. La expansión de irrigación afecta la cantidad de agua fresca disponible para otros usos, y resulta en una escasez de agua y conflictos sobre quien tiene derecho de usar el agua. Cualquier estrategia para satisfacer la demanda para más producción de alimentos tiene potencial de incrementar el ritmo de pérdida de biodiversidad, cambio climático y desertificación.

Figure 3.- Elements of Sustainable Development

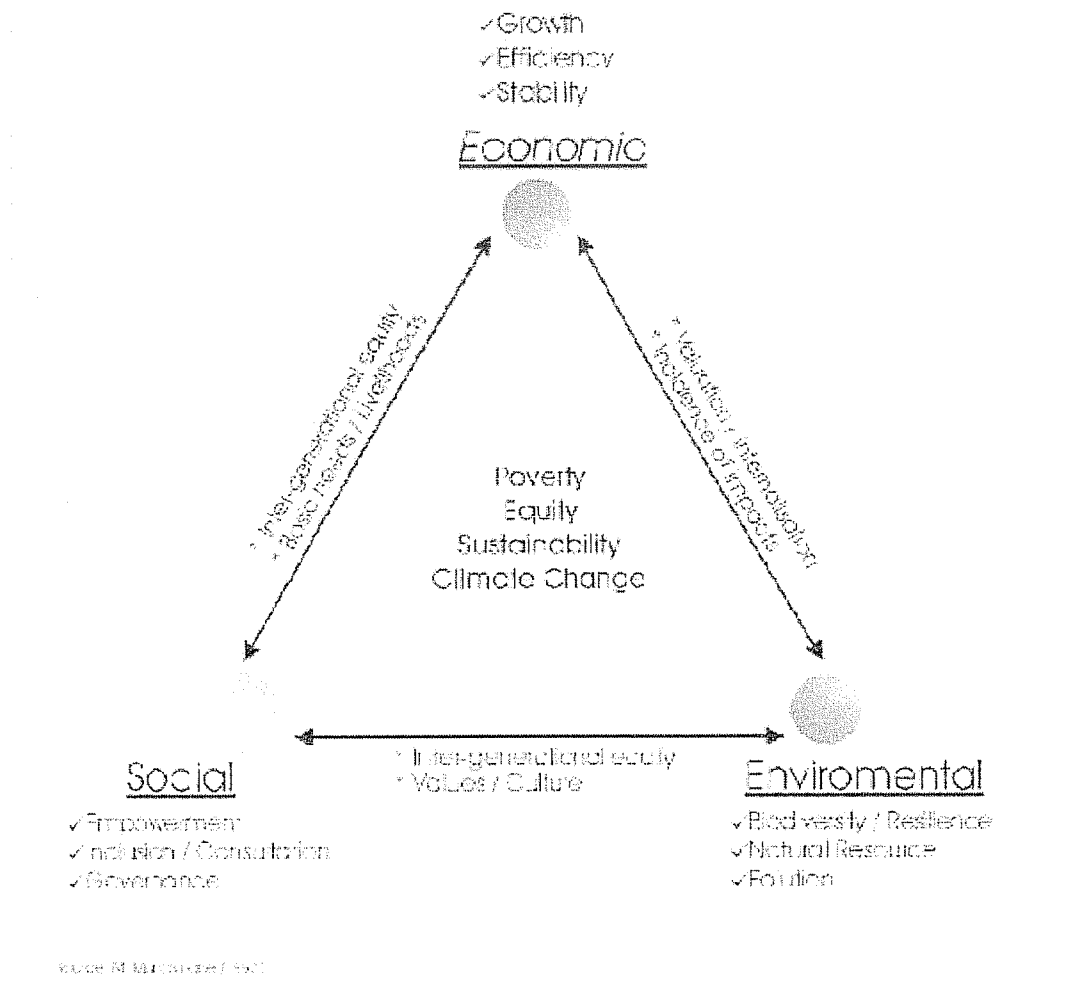


Figura 3 – Elementos Claves de Desarrollo Sostenible con Interconexiones. El desarrollo del mundo industrializado se enfoca en producción físico. El gran número de pobres en el mundo, que es cada vez más, con la falta de beneficios económicos “trickle-down” para ellos resulta en esfuerzos más grandes mejorar la distribución justo de ingresos. El paradigma de desarrollo se cambió a crecimiento equitativo, en que objetivos sociales, especialmente distribución equitativo de propiedades, se reconocen como algo distinto de, y tan importante como eficacia económica. Proteger el medio ambiente, especialmente considerando cambio climático, ahora ha llegado a ser el tercer objetivo principal de desarrollo. La figura, indicando algunas de los asuntos clarificados en el Tercer Informe de Evaluación de IPCC, muestra algunas de las conexiones entre estos tres elementos importantes: el desarrollo, sostenibilidad, y equidad.

□ Pruebas Científicas

Causa de Cambio Climático y Pruebas de su Existencia

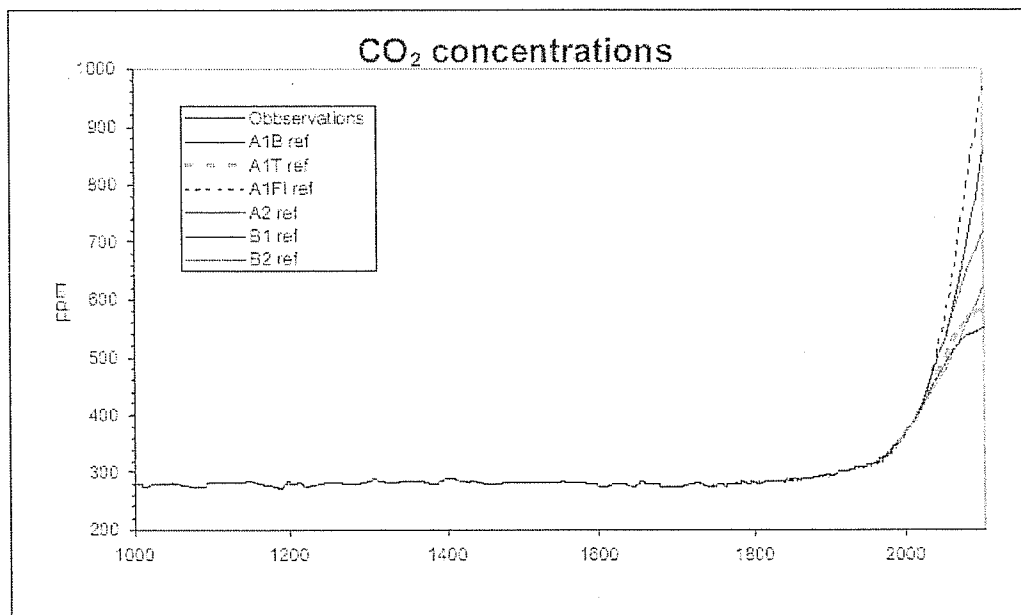
El sistema climático del mundo ha mostrado cambios notables tanto globales como regionales desde la era preindustrial, con algunos cambios atribuibles a influencia humana. Emisiones de gases invernaderos y aerosoles debido a actividades de humanos continúa

cambiar el atmósfera en maneras que probablemente van a afectar la clima. *Concentraciones de gases invernaderos en la atmósfera y sus fuerzas radiantes han crecido durante el Siglo 20 como resultado de actividades humanos.*

Además, casi todos los gases invernaderos llegaron a una concentración más alta en la década pasada que jamás ha sido registrado, y continúan subir, tal como se muestra abajo. CO₂ y CH₄ en el atmósfera han variado mucho durante ciclos glaciario-interglaciares durante los pasados 420,000 años, no obstante, aún las concentraciones más altas de este periodo son mucho menos que las concentraciones actuales en el atmósfera. Hablando de gases invernaderos emitidos por actividad humana, CO₂ y CH₄ son de primera y segunda importancia, respectivamente. Desde 1750 a 2000, la concentración de CO₂ subió más o menos 30%, y la de CH₄ subió 150%.

(Figura 3)

1 Figure 3



Estos ritmos de subida durante el siglo pasado son sin precedente comparado con los 20,000 años pasados, por lo cual existen medidas casi continuas. Quemadura de hidrocarburos emite un promedio de 5.4 Gt-C anualmente durante la década de 1980, y subió a 6.3 Gt-C anualmente durante la década de 1990. Aproximadamente tres cuartos del aumento actual en concentraciones de CO₂ es debido a quemadura de hidrocarburos, con cambio del uso de terrenos, incluyendo pérdida de bosques, responsable por lo que queda. Durante el siglo 19, y la mayor parte del 20, la biosfera terrestre ha sido una fuente neta de CO₂ atmosférico, pero durante las décadas de 1980 y 1990, ha llegado a ser un sumidero neto. La subida en CH₄ corresponde a emisiones de CH₄ por uso de energía, ganado,

agricultura de arroz, y basureros. La subida en concentraciones de otros gases invernaderos, incluyendo ozono troposférico, se debe directamente a emisiones industriales y agrícolas (WG1/2-3-4, SRAGA).

Fuerzas Radiantes Resultantes e Impactos

Estudios y modelos de acumulación de gases invernaderos en la atmósfera y las posibles implicaciones para el clima global han resultado en algunas conclusiones específicas, pero con algo de incertidumbre:

- Es muy probable que la fuerza radiante para cambio de clima desde la era preindustrial ha sido positiva. Esto incluye elementos positivos (calentadores) y negativos (enfriadores) identificados y bien cuantificados, tanto natural como antropogénico. Fuerza radiante continua ser un instrumento útil para estimar como responde la temperatura promedio de la superficie de tierra a perturbaciones naturales y causadas por humanos. Gases invernaderos atrapan el calor radiado por la parte baja del atmósfera y la superficie de la planeta, y así tienen tendencia de calentar la tierra (o sea, una fuerza radiante positiva). La mayoría de los aerosoles aumentan reflexión de los rayos del sol, y tienen tendencia de enfriar la superficie de la tierra (o sea, una fuerza radiante negativa). La actual fuerza radiante positiva debido a los gases invernaderos antropogénicos principales (CO₂, CH₄, N₂O, halo carburos, y ozono troposférico) es bastante más grande que la influencia de fuerza radiante identificada y cuantificada debido a aerosoles antropogénicos, reducción de ozono estratosférico, y cambios en el uso de terrenos como ilustrado en figura 2-2.

No obstante, la fuerza radiante resultado de aerosol tiene incertidumbres mas grandes debido a su efecto indirecto en el fulgor y longevidad de las nubes, y en el ciclo hidrológico. Por eso, la fuerza radiante neta desde 1750, a pesar de que es casi seguramente positiva, no es bien cuantificada. Agentes naturales han contribuido un poco a cambios a la fuerza radiante durante el siglo pasado. La mayoría de fuerza radiante debido a cambios en la energía radiante emitida por el sol desde 1750 probablemente ocurrió durante la primera parte del siglo 20. Aerosoles estratosféricos procediendo de grandes erupciones volcánicas han resultado en fuerza radiante negativa especialmente durante los periodos de 1880 a 1920, y desde 1963 a 1994.

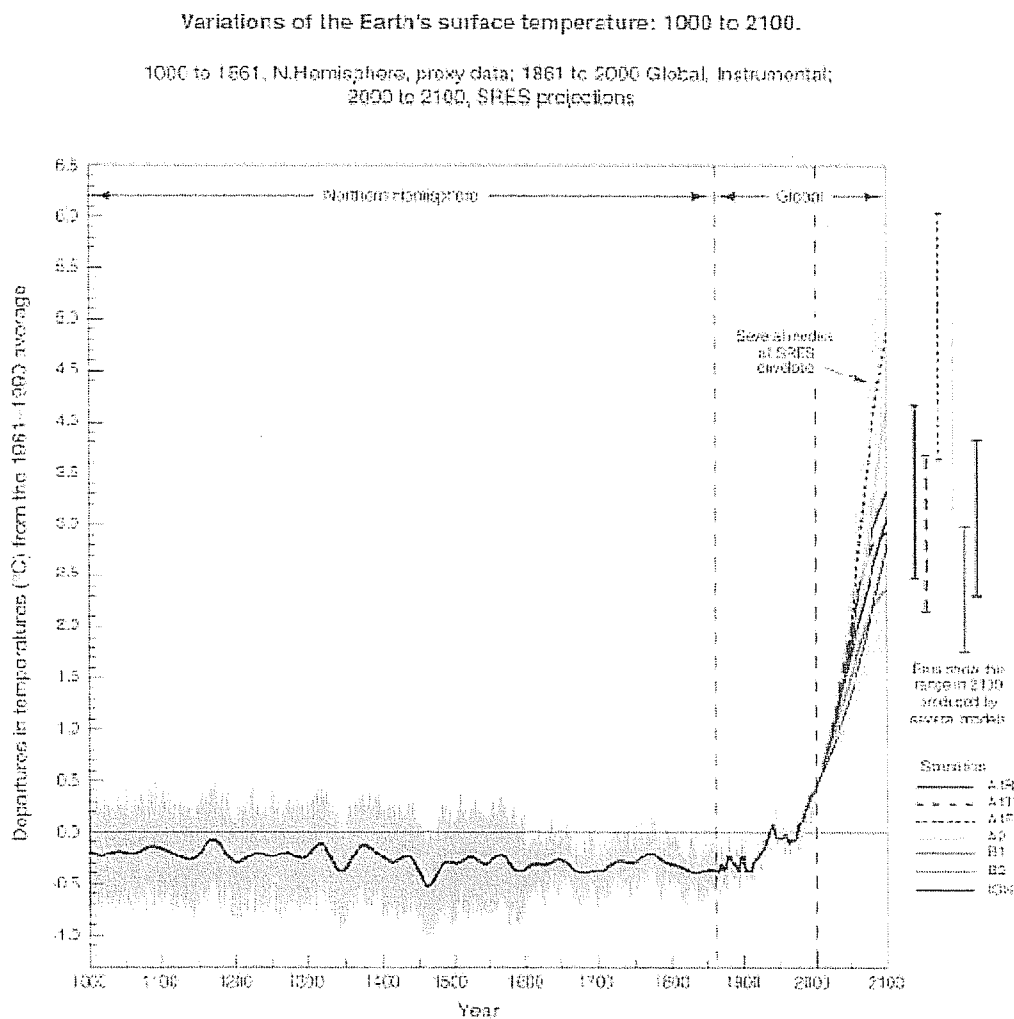
Una recopilación cada vez mas grande de observaciones indican un mundo calentando y otros cambios en el sistema climática. La tabla abajo resume algunos de los cambios claves observados in el sistema climático.

| Indicador | Observación |
|--|--|
| Concentración Atmosférica de CO ₂ 10 | 280±6 ppm (1000-1750), ahora 368 ppm |
| Concentración Atmosférica de CH ₄ | 700±60 ppb (1000-1750), ahora 1750 ppb 11 |
| Concentración Atmosférica de N ₂ O | 270±10 ppb (1000-1750), ahora 316 ppb 12 |
| Temperatura Promedio de la Superficie de la Tierra | +0.6±0.2C (1861 - 2000), áreas de terreno se calentaron más que los océanos (muy probable) |
| Temperatura del Hemisferio Norte | Aumento el en siglo 20 fue más que en cualquier otro siglo durante los 1000 años pasados (probable) |
| Diferencia Entre Temperatura de Día y de Noche | Menos, temperatura mínima de noche está subiendo dos veces más rápido que la temperatura máxima de día (probable) |
| Días Calientes./Índice de Calor | Aumentado (probable) |
| Promedio Nivel del Mar Global | +10-20 cm desde 1860 - 2000, con variaciones regionales |
| Cubierto de Hielo Encima de Ríos y Lagos | Duración reducido más o menos dos semanas en áreas de latitudes altas y medianos en el Hemisferio Norte (muy probable) |
| Extensión y Espeso de Hielo del Mar Arcaico | Más fino (probable) y de extensión reducido durante la primavera y verano |
| Glaciares No-polares | Retirándose por todas partes |
| Cubierto de Nieve | 10% reducción desde 1960 (muy probable) |
| Escarcha Permanente | Derritiéndose |
| Precipitación Continental | Ha subido en el hemisferio norte (muy probable) |
| Acontecimientos de Mucha Precipitación | Más frecuentes en áreas de latitudes altas y medianos en el Hemisferio Norte (probable) |
| El-Niño fenómeno | Más frecuente, persistente e intenso en los 20-30 años pasados que en el siglo anterior |
| Terrestre-biosfera Cambio de carbón | Fuente neto de aproximadamente 30 Gt C entre 800 y 2000. Durante la década de 1990, un sumidero de carbón de 1.4 Gt C anualmente (emisión de 1.6 Gt C/año como resultado de deforestación tropical y un sumidero global de aproximadamente 3.0 Gt C/año) |
| Temporada de Cultivo | Unos 1-4 días mas largo cada década en Europa entre 1959 y 1993 |
| Áreas Donde Viven Plantas y Animales | Se están cambiando, hacia los polos y más alta en altura para plantas, insectos, aves y peces. |
| Reproducción, Floración y Migración | Floración de plantas más temprano, llegada de aves más temprano, fecha más temprano para la temporada de reproducción, aparición de insectos in el hemisferio norte |
| Disturbios | Hay más fogones, árboles tumbadas por viento, y pestes |
| Blanqueación de Arrecifes de Coral | Aumentado, especialmente durante eventos de El Niño/Oscilación del Sur |

Cuadro 1: Cambios Pertinentes a Cambio Climático Observados en los Sistemas Biofísicas del Mundo

La temperatura promedio de la superficie de la tierra ha subido 0.6 de gradadas Celsius desde 1860 a 2000, con un intervalo de confianza de 95% de 0.4 - 0.8 centigrado. Análisis nuevo indica que este aumento en temperatura durante el siglo pasado es probablemente la subida más grande de temperatura para cualquier siglo durante los mil años pasados para el Hemisferio Norte, como indicado en la figura 2-3. Además, es probable que la década de 1990 fuera la más caliente de los mil años pasados. Las temperaturas mínimas diarias para la noche sobre tierra han incrementado un promedio de 0.?? C cada década, más o menos dos veces más rápido que el ritmo correspondiente para subida de temperatura máxima del aire de día. Esta subida ha hecho más largo la temporada sin hielo en muchos regiones de alta y mediana latitudes. (WG1/2).

1 Figure 4
2



En los 8 km más bajos del atmósfera la subida en temperatura desde 1950, aproximadamente 0.1(±)C cada década, ha sido similar a la del superficie de la tierra. Más recientemente, desde 1979, medidas hechas por globos de tiempo y satélites muestra que la temperatura promedio del la parte baja del atmósfera se ha incrementado 0.05 C cada década, mientras que la superficie subió 0.15 C cada década, una diferencia en ritmos de

calentar de corto plazo que es significativa según las estadísticas. A pesar de que depleción de ozono estratosférico, aerosoles atmosféricos, fenómeno de El Niño y técnicos usados para muestreo pueden ser responsables por parte de la diferencia en estos ritmos, las diferencias no son plenamente resueltas. (WG1/2).

Hay pruebas nuevas y más fuertes que la mayoría de la subida en temperatura durante los 50 años pasados fue causada por actividades humanas. Es muy probable que la subida en temperatura observada durante los 100 años pasados no sea de origen natural. Es muy probable que la subida en temperatura durante los 100 años pasados no sea resultado de variabilidad interna, de acuerdo con modelos actuales. Reconstrucciones de datos de clima para los 1000 años pasados también indican que esta subida en temperatura fue anormal y probablemente no resultado de solamente fuerza radiante natural (por ejemplo, erupciones volcánicas y variaciones en emisiones solares): estos no explican la subida en temperatura en los últimos 50 años del siglo 20, como mostrado en figura 2-4a, pero puede ser que contribuyeron a la subida en temperatura observado en la primera mitad del siglo 20.

Considerando pruebas nuevas y tomando en cuenta incertidumbres que quedan, la mayoría de la subida en temperatura observada durante los 50 años pasados es probablemente el resultado de concentraciones incrementados de gases invernaderos. Estudios de descubrimiento y atribución constantemente hallan pruebas para una señal antropogénico en el récord del clima en los 30-50 años pasados, a pesar de incertidumbres en fuerzas radiantes debido a aerosoles antropogénicos, reacción de nubes y otras causas naturales. Fuerza radiante de sulfatos es incierta, pero es negativo tras este término y así no puede explicar la subida en temperatura. Se creen que cambios en fuerza radiante natural durante este periodo también son negativos y probablemente no pueden explicar la subida en temperatura (figura 2-4a). La mayoría de los estimados hechos por modelos que incluyen gases invernaderos tanto como aerosoles sulfatos concuerdan con observaciones hechas el los pasados 50 años. La mejor concordancia entre modelos y observaciones de los 140 años pasados se encuentra cuando se juntan todos los factores antropogénicos y naturales de fuerza radiante, tal como en figura 2-4b. Estos resultados muestran que las fuerzas radiantes incluidas bastan para explicar los cambios observados, pero todavía permiten la posibilidad que otros fuerzas radiantes puedan contribuir. Los efectos de otros factores antropogénicos (carbón orgánico, carbón negro, aerosoles de plantas y cambios en uso de terrenos) no se han incluido en estudios de descubrimiento y atribución porque, individualmente, sus efectos globales se creen ser muy pequeños.

Algunos otros cambios concuerdan con cambio de clima antropogénico en el sentido de que la dirección del cambio observado es igual que la dirección que indican modelos con fuerza radiante debido a gases invernaderos incrementados. La mayoría de estos cambios son regionales en vez de ámbito global, y por eso es más difícil distinguir y formalmente atribuir los cambios a la influencia humana global en vez de variaciones internos, fuerzas radiantes naturales, o actividades de humanos regionales. Por ejemplo, la mayoría de los glaciares no-polares han estado retrocediendo en concordancia con subidas en temperaturas regionales y de acuerdo con subidas en temperaturas globales pero no han sido formalmente atribuidos (WG2/4.3).

Cambios en el nivel del mar, cubierto de nieve, y extensión de hielo concuerdan con una subida en temperaturas globales.

Es muy probable que el siglo 20 haya contribuido significativamente a la subida observada en el nivel promedio del mar y la subida en calor contenido en el mar.

Subidas en temperaturas resulta en subidas en el nivel del mar por medio de expansión termal de las aguas del mar y pérdida de hielo en todas partes de la tierra. Basado en los pocos registros de mareas de largo plazo, la subida de un promedio de 0.1 a 0.2 metros en el siglo 20 fue menos que en el siglo 19, véase figura 2-5. No se ha encontrado una aceleración significativa en el ritmo de subida del nivel del mar durante el siglo pasado, y de acuerdo con incertidumbres actuales, esto concuerda con los modelos (WG1/11).

Cubierto de nieve y la extensión de hielo han disminuido. Es muy probable que la extensión de cubierto de nieve ha reducido unos 10% desde 1967 y que el tiempo en que lagos y ríos están cubiertos de hielo ha reducido unas dos semanas durante el siglo 20 en latitudes altas y medianas del Hemisferio Norte. Glaciares no-polares en las montañas han retrocedido por todas partes durante el siglo pasado. Es probable que la extensión de hielo en el océano durante la primavera y el verano haber disminuido aproximadamente 10 –15% desde 1950, y el espesor de hielo del mar en el ártico ha reducido unos 40% durante la última parte del verano y la primera parte del otoño. Reducción en el espesor de hielo del mar durante el invierno es significativamente más lento. Cinco declives de hielo han retrocedido durante el siglo pasado, incluyendo el derrumbe de Prince Gustov y partes de los declives de hielo Larsen como resultado de subidas en temperaturas regionales in la Península de Antártica (WG1/2).

Es muy probable que precipitación haya subido durante el siglo 20 uno 5 o 10% en latitudes altas y medianas del Hemisferio Norte, y unos 2 – 3 % en la mayoría de regiones tropicales. Véase figura 2-7. No obstante, es probable que precipitación haya disminuido tras el siglo pasado sobre mucho de la tierra entre latitudes 10 ° N a 30 ° N. Probablemente haya sido una subida de 2 a 4% en acontecimientos de mucha precipitación en latitudes altas y medianas del Hemisferio Norte en los últimos cincuenta años del siglo 20. Hubieron incrementos pequeños de largo plazo en la extensión de áreas sufriendo de sequías severas o demasiado precipitación, pero en muchas regiones, estos cambios son dominados por variabilidad de clima en un plazo de varios años a varias décadas como el cambio en El Niño/Oscilación del Sur hacía acontecimientos clientes. (WG1/TS, Sec. B.2 y B.6)

Cambios también han ocurrido en otros aspectos importantes de clima, por ejemplo:

-Diseños regionales de subida de temperatura que ocurrió durante la primera parte del siglo probablemente son distintos a los diseños de la subida que ocurrió durante la última parte del siglo. Las subidas de temperatura más grandes ocurrieron en latitudes altas y medianas del Hemisferio Norte. Variabilidad en el sistema climática regional puede afectar fuertemente tendencias de temperaturas regionales tras unas décadas, y éstas pueden ser muy distintos a promedios mundiales. Como descrito abajo, conexiones de acuerda a estadísticas significante entre cambios en climas regionales y cambios observados en sistemas biológicas se han encontrado en ambientes de agua fresca y del mar, y en tierra en todos los continentes. (WG1/TS, SEC. B.1, y WG2/TS, SEC. 7.1)

-Acontecimientos calientes del fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur han sido más frecuentes, persistentes, e intensos desde alrededor de 1975, comparado a los 100 años anteriores. El Niño/Oscilación del Sur consecuentemente afecta variaciones regionales de temperatura en muchas áreas tropicales, subtropicales y algunas de latitudes medias, y no se sabe si su frecuencia va a cambiar con más subidas de temperaturas globales (WG1/2).

- Algunas características importantes del clima aparentemente no han cambiado. La temperatura en algunas áreas del mundo no ha subido en años recientes, mayormente en algunas partes del mar en el Hemisferio Sur y partes de Antártica. No hay tendencias significantes en extensión de hielo del mar antártico desde 1978, cuando comenzó medidas de satélite de fiar. Cambios globales en intensidad y frecuencia de tormentas tropicales y extra-tropicales son controlados por variaciones de unos años a varias décadas, sin tendencias significantes tras el siglo 20. Análisis actual no puede hacer conclusiones acerca de probabilidad de cambios en actividad de tormentas o en frecuencia de tornados, días de truenos o acontecimientos de granizo para los regiones limitados que se han estudiados (WG1/Ch2).

Cambios regionales de clima durante los 50 años pasados han tenido impacto en sistemas biofísicas y hay indicios de costos sociales y económicos.

Pruebas observadas disponibles indican que cambios de climas regionales, especialmente subidos de temperatura, ya han afectado un juego diverso de sistemas físicos y biológicos en muchas partes del mundo.

- Cambio de clima regional ha tenido un impacto significativo en sistemas biológicos en el siglo 20. En muchas partes del mundo los cambios observados en estos sistemas concuerdan en dirección, y son consecuentes tras localidades diversos, con los efectos esperados para cambios de temperatura regionales. Tales sistemas incluyen, por ejemplo, distribución de especies, tamaño de poblaciones, y la temporada de reproducción o migración (WG2, 5.4, 11.2). Estas observaciones indican que cambio de clima regional es una causa principal que contribuye a los cambios observados (WG2).

- Se han observado cambios en los tipos (por ejemplo, fogones, sequías, árboles tumbadas por el viento), intensidad y frecuencia de disturbios afectados por cambio de clima regional y que entonces afectan la productividad y composición de especies dentro de un ecosistema, especialmente en altas y medianas latitudes (WG2/5.2.1, 13.2.1.4, 16).
- Frecuencia de pestes y epidemias también ha cambiado, especialmente en sistemas de bosques, y hay una conexión a cambio de clima (WG2, 5.2, 5.3.4.1, 5.5, 5.6, 5.9, 15.2). No obstante, hay algunas resultados positivas de subidas en temperaturas, por ejemplo, en Europa, la temporada de cultivo se extendió unos 10.8 días entre 1959 y 1993. (WG2/5.2.1, 16.1.3.1).
- En algunas regiones de África, la combinación de cambios regionales climáticos (El Niño/ Oscilación del Sur, Sequía Sahelian) y tensiones antropogénicos ha resultado en producción reducido de alimentos cereales desde 1970 (WG2/10).

Subidas en la temperatura de la superficie de la mar daña arrecifes de coral. Se han registrado una subida en temperaturas de la superficie de la mar en muchas áreas tropicales en las últimas décadas. Muchas corales han sufrido acontecimientos de blanqueación muy

fuertes cuando la temperatura ha sobrepasado el máximo de la temporada por (Δ) C, aunque la esto es generalmente reversible en parte. Muchos murieron cuando la temperatura de la superficie de la mar sobrepasó el máximo de la estación por (Δ) C por varios meses en acontecimientos de El Niño. Estos acontecimientos de blanqueación muchas son asociados con otros tensiones como polución (WG2, 6.4.5, 17.4241).

Cambios en sistemas de la mar, especialmente en poblaciones de pez, son claramente conectados a cambio de ámbito grande en el clima. Los El Niños/ Oscilaciones del Sur afectan pesquerías en la costa oeste de Suramérica y África (WG2/10.2.2.2, 14.x) y hay una conexión entre oscilaciones de varias décadas en el Pacífico y producción reducido en las pesquerías de Norteamérica. (WG1/2.6.3, WG2/15.2.3.3).

Cambios en corriente de arroyos, inundaciones, y sequías han sido observados. Pruebas que cambio climático regional impacta a partes del sistema hidrológica se concuerda con respuestas provistas por modelos del ciclo hidrológico con subida en temperaturas globales. (WG2/19, 2, 2, 1). Corriente máximo para arroyos ha cambiado de primavera a la última parte del invierno en muchas partes del este de Europa, Rusia en Europa y Norteamérica en décadas recientes. (WG2/4.2.6). El aumento reciente el frecuencia de sequías y inundaciones en algunas áreas (WG2/SPM) son controlados por variaciones de varias décadas en clima. (WG2, 4.3, 10.2).

Tiempo o acontecimientos climáticos severos causan daños generales. Acontecimientos extremos actualmente son una gran fuente de daños relacionados con clima. (WG2/12.1) y probablemente van a ser más frecuentes e/o intensos con subidas de temperaturas globales, por ejemplo, grandes pérdidas de vida humana, daño a propiedades, y otros daños ambientales fueron registrados durante El Niño/ Oscilación del Sur de 1997-98. (WG2/14) Los efectos de clima severo y variabilidad son una preocupación grande, y los impactos desiguales de peligros climáticos resultan en preocupaciones para desarrollo y equidad (WG2/8).

Los costos socioeconómicos relacionados con daño hecho por el tiempo y cambios regionales en clima son pruebas de vulnerabilidad cada vez más a cambios climáticos globales. Acontecimientos climáticos severos causan daños incrementados, lo que no se puede explicar plenamente con solamente factores socioeconómicos.

El costo directo de pérdidas causadas por catástrofes globales relacionados al tiempo se ha aumentado diez veces entre los 1950 y los 1990. Estos costos son dobles cuando se incluyen acontecimientos de tiempo 'normales' (no catastróficos). Pérdidas incrementados tras los 50 años pasados relacionados a precipitación (por ejemplo inundaciones, granizo, cultivo de terrenos (WG2, Fig. 8-1, 8-3)) no se pueden explicar plenamente por inflación, cambios demográficos, y/o aumentos en propiedades asegurados. El número de acontecimientos relacionados con el tiempo han subido tres veces más rápido que los de acontecimientos no relacionados con tiempo, a pesas de que en general, estamos mejor preparados para desastres (WG2, Fig. 8-1).

Se han observado efectos a la salud relacionados con el clima. Se ha encontrado una conexión entre periodos muy calientes en Europa y Norteamérica y mortandad urbana incrementada (WG2/13.2.5.1). Ritmos diferentes de heridas físicos, enfermedad y muerte

han resultado de acontecimientos de tiempo severos (inundaciones, sequías, fogones, tormentas, y ciclones) (WG2/ 9, 13.2.5).

La porción de pérdidas relacionados con el tiempo protegidos por seguro es bastante diferente en distintas regiones. Seguros pagan por solamente 5% de la pérdida económica actualmente en Asia, y 10% en África, comparado con 20% en Norteamérica y 30% en Europa.

Reconocer y esperar impactos dañosos de cambio climático ha producido respuestas públicas y del gobierno que han cambiado economías.

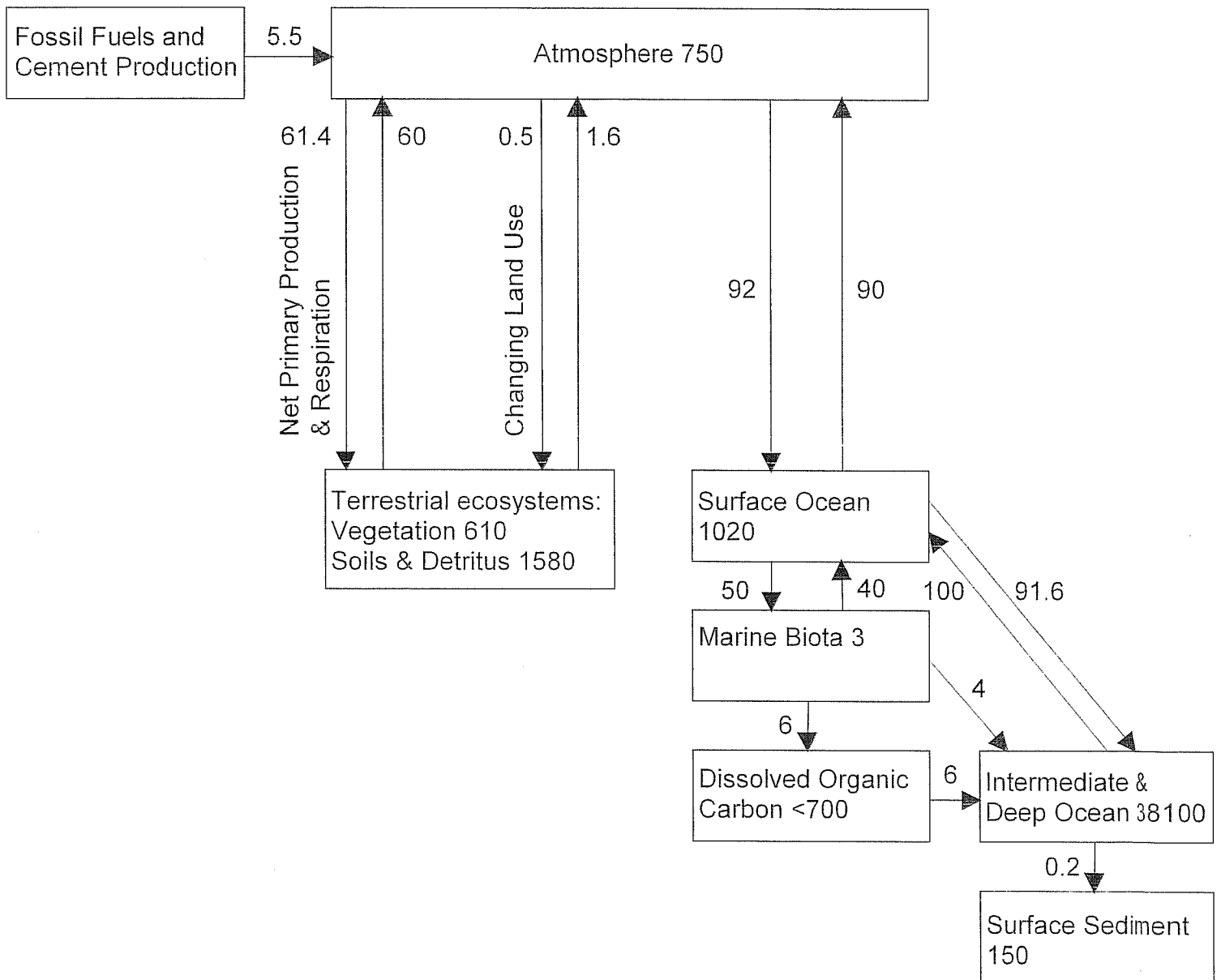
Respuestas socioeconómicas y políticas a cambios esperados en el sistema climático ha incluido varias iniciativas a mitigar emisiones de gases invernaderos en la década pasada.

Nota: Estas conclusiones tienen degradadas de incertidumbres variadas.

El Ciclo Global de carbón

Habiendo introducido brevemente las conexiones entre gases invernaderos y sus impactos en el clima global, necesitamos examinar las ubicaciones y flujos específicos de gases invernaderos, lo que generalmente se describe con el término 'ciclo global de carbón'. El esquema abajo muestra la distribución y magnitud de carbón en el sistema global.

Fig. 1. El ciclo global de carbón, que muestra la cantidad de carbón (en Pg C) y movimiento de carbón (en Pg C/año). Revisado según Schimel (1995).



De interés especial es la cantidad de carbón y los flujos en la biosfera terrestre. Se estiman que el ecosistema terrestre contiene aproximadamente 2190 Gt C, con un pequeño sumidero neto (absorción) cada año, mayormente debido a crecimiento de bosques en alturas medianas y altas. Hay una fuente neto de casi 1 Gt C debido a cambios en el uso de terrenos, mayormente en latitudes bajas. Los océanos son un sumidero de unos 2 Gt C anualmente del atmósfera, con movimiento de aproximadamente 8.4 Gt C directamente entre la superficie del océano y las partes profundas y intermedias, y otro 4 Gt C vía plantas y animales del océano. 6 Gt C del carbón movido de la superficie se convierte en carbón orgánico disuelto.

Figura 3.3 abajo muestra la división de carbón entre varios ecosistemas terrestres, con la mayoría de carbón en vegetación colocada en selvas tropicales y sabanas. Más de dos tercios del carbón en el ecosistema terrestre está en tierra, donde el carbón se renueva mucho más lentamente que el carbón en plantas. Las reservas de carbón se renuevan a ritmos distintos, pero esto puede ser empeorado por cambios de clima. Véase figura 5 abajo.

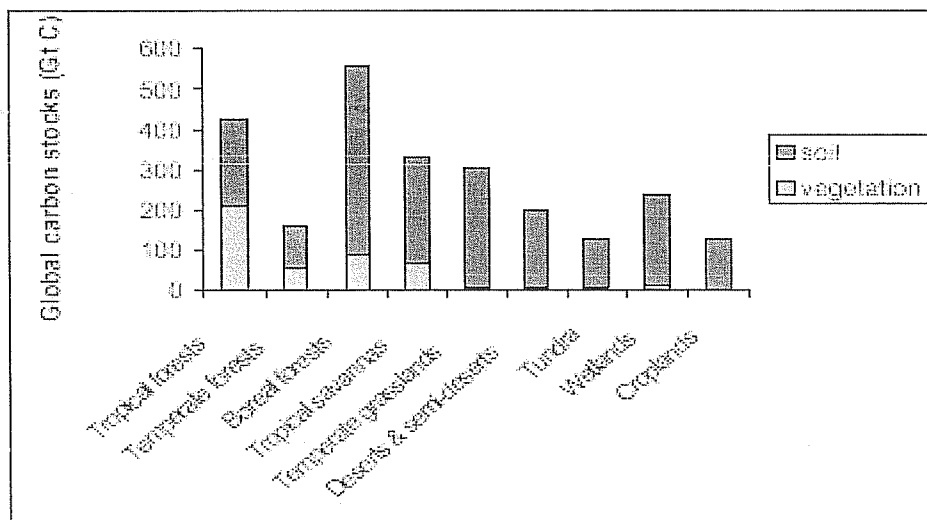


Figura 3.3: Reservas de carbón estimadas para sistemas terrestres. La cantidad de carbón en la tierra en sistemas de selvas es grande, y es vulnerable a cambio climático y disturbios causados especialmente por cambio climático regional (datos de WG1. Tabla 3.2)

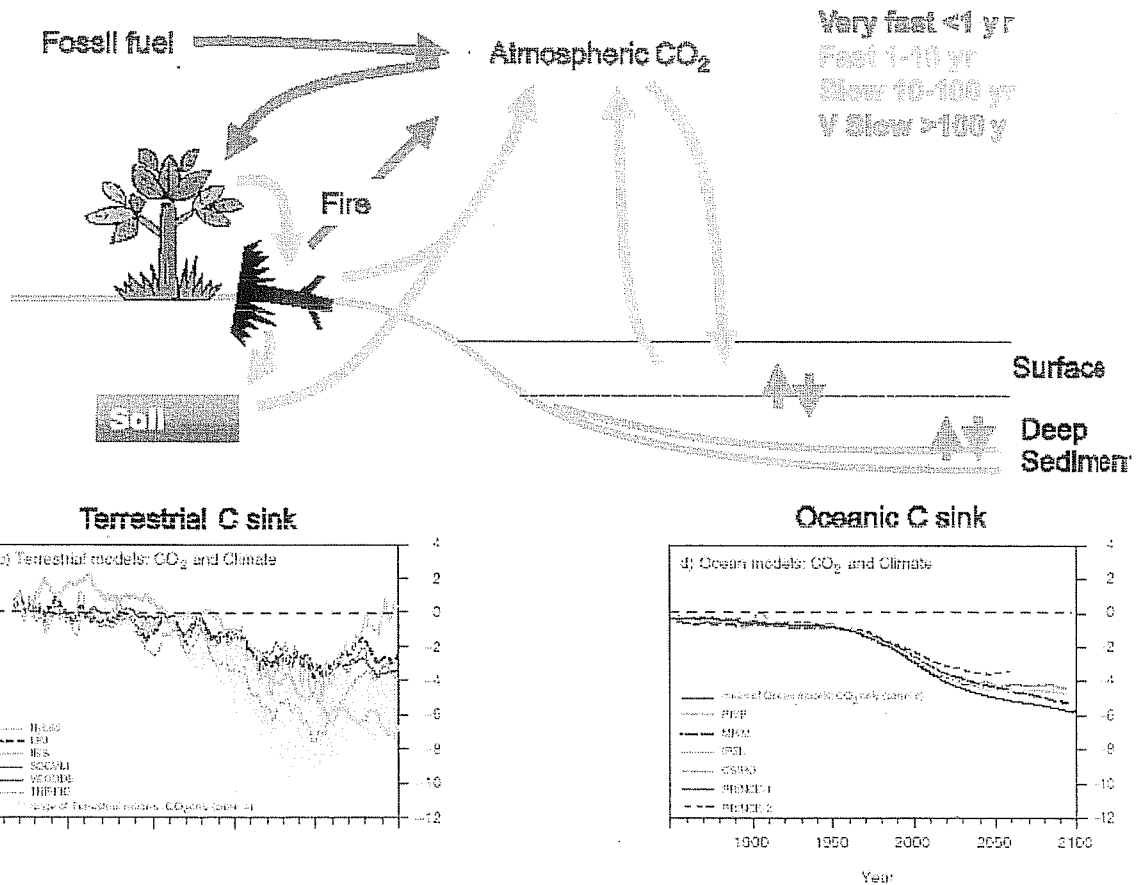


Figura: Reservas de carbón y sus ritmos de renovación y cambio neto simulado de carbón terrestre y de la mar entre 1900 y 2100.

1.2 Intervención (Adaptación y Mitigación)

Como mencionado arriba, se cree que concentraciones de bióxido de carbón, temperaturas promedio de la superficie de la tierra y la nivel del mar van a incrementar bajo todos los senarios de IPCC durante este siglo. Reducción en emisiones puede reducir la magnitud y ritmo de cambios climáticos y aumento en el nivel del mar. La coordinación de estas acciones es necesaria debido a inercia significante en el sistema climática. Por ejemplo:

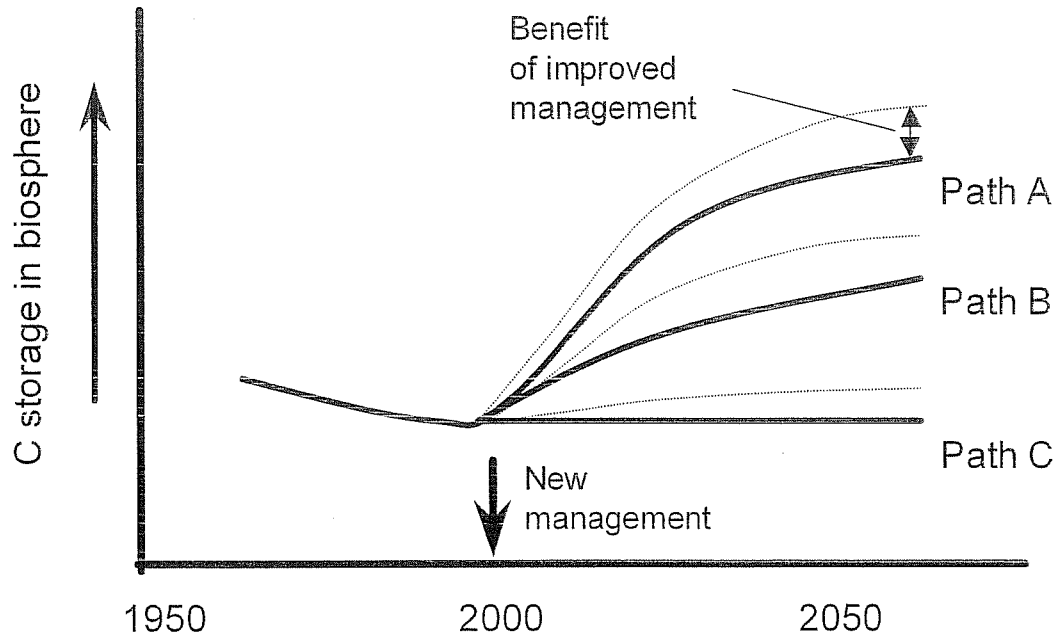
- (i) *Los efectos de reducciones en emisiones, tal como los del 'Kyoto Protocolo', o un programa para estabilizar concentraciones, acumulan tras el tiempo para reducir los ritmos de subidas de temperatura y aumento en el nivel del mar.* Reducciones en emisiones de bióxido de carbón relativamente no cambian mucho su concentración atmosférica o la temperatura promedio de la superficie de la tierra y subidas en el nivel del mar durante las primeras décadas de implementación debido a su larga vida atmosférica. No obstante los efectos de reducciones en emisiones pueden, tras tiempo, reducir el tamaño de la subida proyectada en temperaturas por una fracción significante antes de 2100.

- (ii) *Estabilización de concentraciones de bióxido de carbón en todos niveles consideradas en el TAR (450 ppm – 1000 ppm) se puede lograr solamente al reducir emisiones significativamente bajo niveles actuales.* Modelos del ciclo de carbón indican que estabilización de concentraciones a 450 ppm, 650 ppm o 1000 ppm requería que emisiones globales antropogénicas se reduzcan a un nivel menos de los niveles de 1990, dentro de unas décadas, un siglo o dos siglos, respectivamente, y continuar la continuamente reducir concentraciones después de este tiempo.
- (iii) *La temperatura promedio global de la superficie de la tierra y el nivel del mar continuarán subir por cientos de años después de estabilización de concentraciones de gases invernaderos. La temperatura promedio global de la superficie de la tierra es proyectada subir unos 1.5 a 9 C, y el nivel del mar se proyecta subir entre 0.5 a más de 10 metros (al equilibrarse) para estabilización de dióxido de carbón entre 450 ppm y 1000 ppm.*

La severidad de los impactos malos será cada vez más grande con más emisiones cumulativas de gases invernaderos y los cambios climáticos relacionados. Cambio climático, que es un estrés adicional para muchos sistemas, puede tener efectos malos o beneficios. No obstante, es probable que efectos malos sean los más numerosos en la mayoría del mundo, especialmente en las áreas tropicales y subtropicales, donde se encuentran la mayoría de los países en vías de desarrollo. Efectos adversos asociados con estrés por el calor, pérdida de vida en inundaciones y tempestades y indirectamente por portadores de enfermedad (p. ej. mosquitos), patógenos de agua, calidad de agua, calidad del aire, disponibilidad y calidad de alimentos, nueva ubicación de poblaciones, disturbios económicos son mucho más peores para países en vías de desarrollo que en los más afluentes.

Debido a estos factores, es necesario tomar acción en mitigación tanto como adaptación (debido a que cambio climático ya está pasando) y comprometer hacer las dos. Mitigación se defina como aquellas actividades o políticas que reduzcan acumulación de gases invernaderos en el atmósfera, y adaptación quiere decir acciones y políticas que alivian los impactos adversos en sistemas socioeconómicos y biosféricos. En el área de uso de agua, puede ser necesario adoptar diferentes vías de gerencia de recursos, cada una de las cuales puede resultar en más almacenaje de carbón biosférico comparado con el escenario de referencia abajo. (Véase figuras 6 y 7 abajo).

Figura 6. Representación conceptual de posibles respuestas de almacenajes de carbón en sistemas terrestres a gerencia mejorada en tres escenarios posibles.



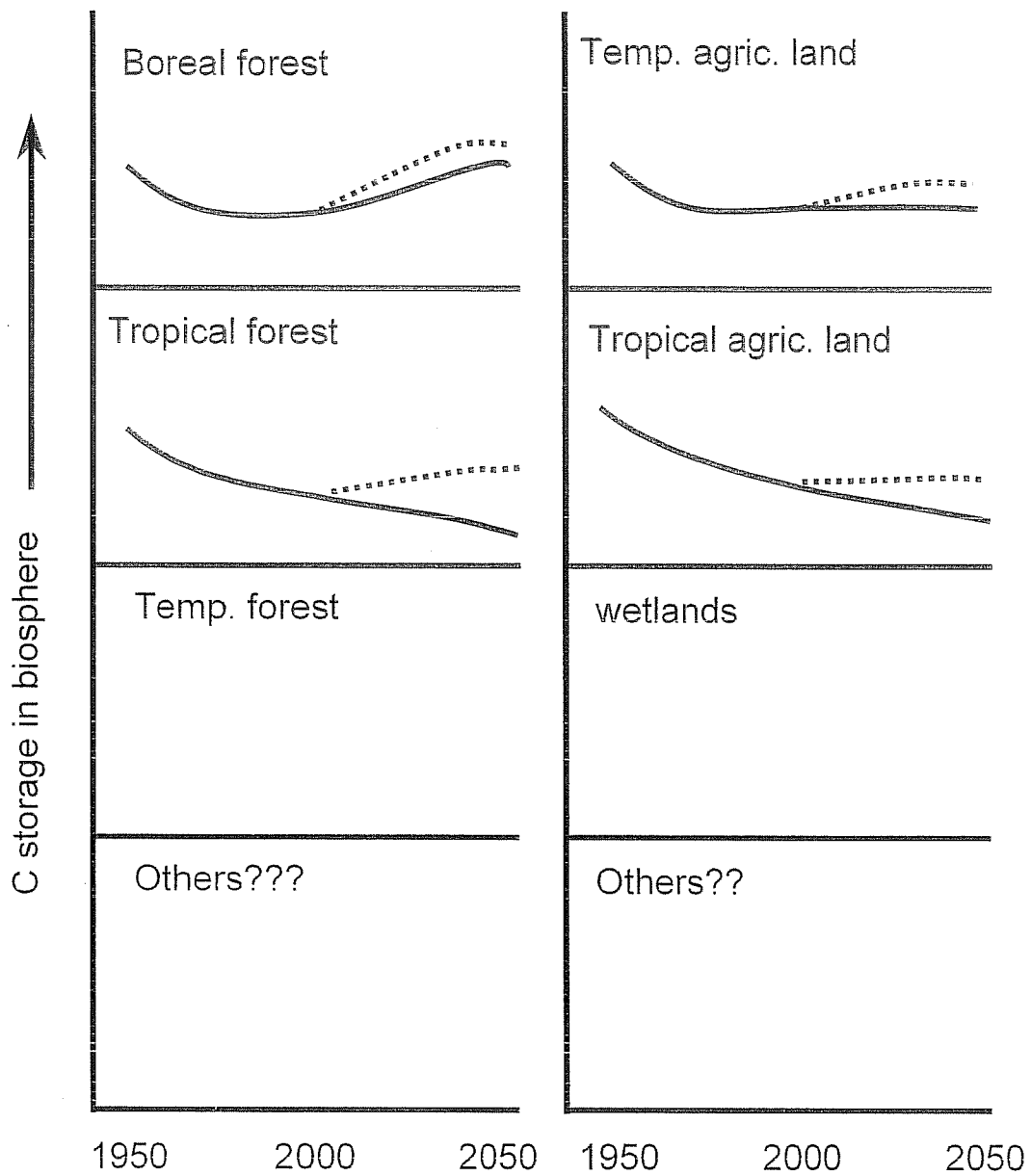


Figura 7. Representación conceptual de posibles respuestas de almacenajes de carbón en sistemas terrestres a gerencia mejorada.

Adaptación involucra acciones y políticas preventivas (defensivas) tanto como medidas reactivas en áreas donde probablemente van a tener impactos adversos. En el área de uso de terrenos, éstos pueden incluir estabilización de suelo utilizando una cubierta de vegetación o muros físicos en terrenos muy vulnerables, y también introducción de (en un clima cambiado) especies apropiados tal como cosechas que puedan resistir sequías en áreas donde esto es un problema, etc. Se llevará a cabo mitigación tanto como adaptación teniendo en mente las restricciones socioeconómicas enfrentadas por el país o la comunidad.

1.3 Cambio Climático en La América Central:

Contribución de Centroamérica como causa de cambio climático

Los países de Centroamérica participantes en este programa (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Belice) ocupan un área de 51 millones de hectáreas, de la cual un 40% es cubierta de selva. Con una masa estimada de vegetación sobre la tierra de 3.5 billones de toneladas, el total de almacenaje de carbón terrestre sería aproximadamente 5 Ge C, si esta área contiene cantidades de carbón en tierra y vegetación proporcionales a otras áreas tropicales. Así que el ritmo de pérdida de carbón terrestre será en proporción al ritmo de uso de recursos de selva tanto como conversión de terrenos de selva para otros usos. De cierto, hasta que punto puede participar la región en mitigación de cambio climático depende de hasta que punto se perderían selvas en el caso de referencia (línea de base) y también utilización de cualquier posibilidad actual de aumentar de la densidad de carbón en sus tierras por medio de reforestación, forestación, agregación de terrenos, etc.

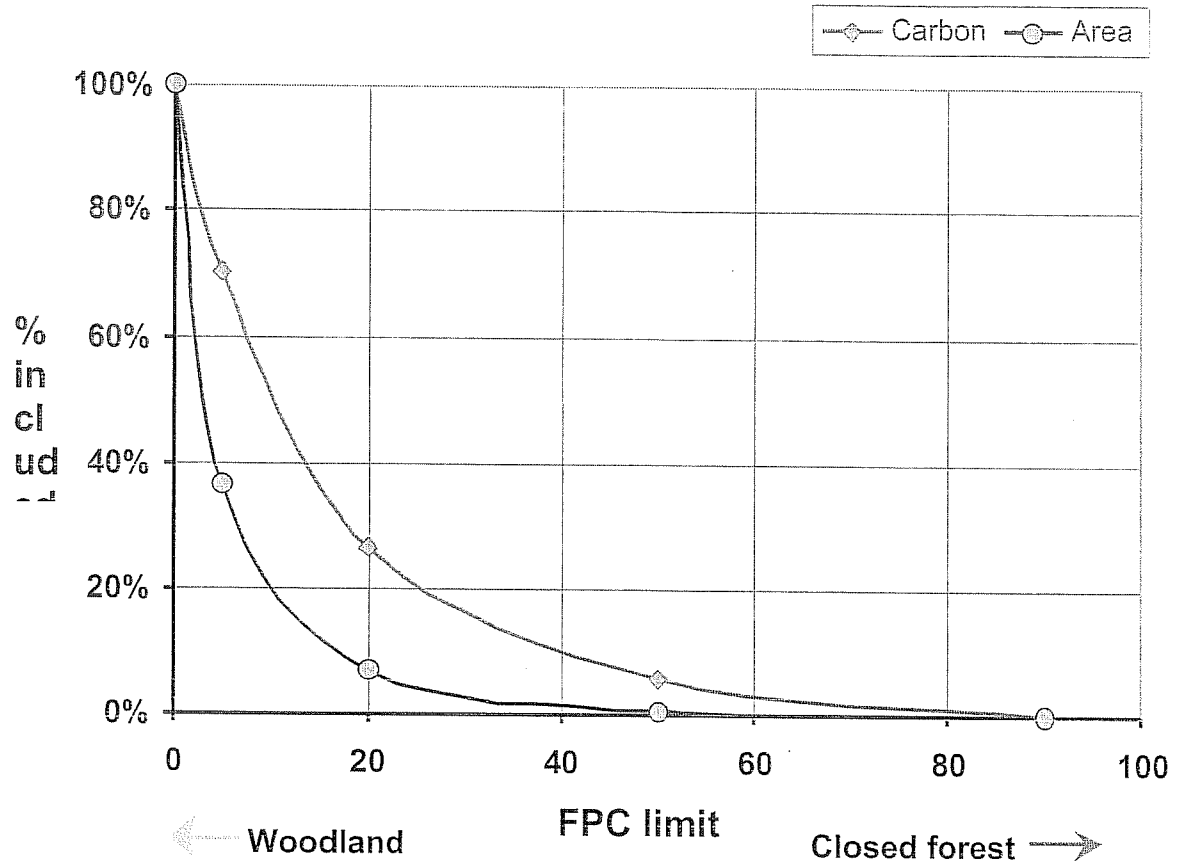
La América Central es mucho más vulnerable a cambio climático comparado a la mayoría de las otras regiones de igual tamaño, debido principalmente a las investidas naturales con las que la región es bendita. Acontecimientos climáticos severos tal como inundaciones, un fenómeno importuno de frecuencia creciente en esta región, tanto como subidas en temperaturas y subidas en el nivel del mar ponen a riesgo una gran porción de los sistemas naturales, incluyendo diversidad biológica.

2 Selvas y cambio climática: Ciencia

2.1 Definiciones

Para comprender claramente la interacción de uso de terrenos, cambio en uso de terrenos y selvicultura con cambio climático, necesitamos entender claramente las definiciones del vocablo utilizado. Muchos términos en selvicultura, incluyendo el término 'selva' se han utilizado para representar distintas cosas a distintas personas, dependiendo de para que propósito la definición fue desarrollada y utilizada, si se basa en porcentaje de tierra cubierta, en jurisdicción administrativa o legal, o en espera de algún uso específico, como maderos. Por ejemplo, dependiendo en el propósito del estudio, el área de selva en un país, y consecuentemente, la cantidad de almacenaje de carbón, varía mucho. (Véase figura 3.2a abajo).

Australia



Se le pidió al Informe Especial de IPCC LULUCF proveer definiciones breves de los términos importantes para comprender el papel de selvicultura en cambio climático para facilitar la implementación de decisiones y políticas pertinentes tal como el Protocolo Kyoto. Estos términos funcionales se refinaron (IPCC, 2000 LULUCFSR Capítulo 3) y se hace entender las implicaciones de usar varias definiciones para almacenajes de carbón y flujo de carbón.

En su reunión en Bonn de 2001, el COP adoptó las siguientes definiciones, modalidades, reglas y guías relacionados con uso de terrenos, cambios en uso de terrenos y actividades de selvicultura bajo Artículos 3, 6 y 12 del Protocolo Kyoto.

(FCCC/CP/2001/L.11/Rev.1) afirma que para uso de terrenos y actividades de selvicultura bajo Artículos 3.3 y 3.4, las siguientes definiciones tienen vigencia:

- (a) “Selva” es un terreno con un área mínimo de 0.05-0.1 hectáreas con una cubierta de árboles (u otro nivel equivalente) de más de 10 – 30%, con árboles con potencial de crecer a una altura mínima de 2-5 metros al madurarse. Una selva puede consistir de formaciones cerradas de selva donde árboles de varios niveles o plantas y maleza cubren un porcentaje alto del suelo, o puede ser selva abierta. Arboledas naturales jóvenes y todas las plantaciones los cuales no han llegado a cubrir 10 – 30% o que no han crecido a una altura de 2-5 metros se incluyen en la definición de selvas, como éstos son áreas que normalmente forman parte del área de la selva y que temperadamente son deforestados como resultado de intervención humana como cosecha o de causas naturales, pero que se esperan reconvertirse a selva;
- (b) “Forestación” es una actividad humana que convierte terrenos que no han sido forestados por un periodo de por lo menos 50 años a selvas por medio de plantar vegetación o semillas y/o promoción humana de fuentes de semillas naturales;
- (c) “Reforestación” es la conversión directa por humanos de terrenos no forestados a terrenos de selva por medio de plantar vegetación o semillas y/o promoción humana de fuentes de semillas naturales, en tierra que era selva, pero que se había convertido a terreno no forestado. Para el primer plazo de compromiso, actividades de reforestación se van a limitar a reforestación de terrenos que no eran forestados en el día 31 de diciembre de 1989;
- (d) “Deforestación” es la actividad humana que convierte áreas de selva a áreas no forestados.
- (e) “Revegetación” es una actividad humana con propósito de aumentar almacenaje de carbón en terrenos por medio de establecer vegetación que cubre por lo menos 0.05 hectáreas y que no calle dentro de las definiciones de forestación o reforestación contenidas aquí;
- (f) “Gerencia de Selva” es un sistema de procedimientos para mayordomía y uso de terrenos de selva con el propósito de llevar a cabo funciones ecológicas (incluyendo diversidad biológica), económicas y sociales de la selva en una manera sostenible.
- (g) “Gerencia de terrenos de cultivo” es un sistema de procedimientos para terrenos de cultivo y para también para tierra apartada o que temperadamente no se está usando para producción de cosecha;

- (h) “Gerencia de terrenos de pasto” es un sistema de procedimientos para terrenos usados por producción de ganado, con el propósito de controlar la cantidad y clase de vegetación y ganado producido.

Otros términos comunes en esta área definidos por el Informe Especial del LULUCF son:

“Fuente” refiere a una reserva o almacenaje de carbón que tiene una emisión neta a la atmósfera de gases invernaderos.

“Sumidero” refiere a un mecanismo o proceso que remueva de la atmósfera un gas invernadero, un aerosol o un precursor a un gas invernadero. Una reserva o almacenaje puede ser un sumidero para carbón atmosférico si en cualquier plazo de tiempo si el carbón que entra es más de lo que sale.

“Secuestación” refiere a la adsorción y almacenaje de carbón atmosférico por un periodo de tiempo de importancia para contabilidad de carbón.

2.2 El ciclo de carbón en selvas (almacenajes y movimiento de carbón en los ecosistemas principales; componentes del balance de carbón en tales ecosistemas)

Ecosistemas terrestres, que contienen carbón en varios compartimentos de vegetación y animales vivos y en suelos, juega un papel sumamente importante el ciclo de carbón global. Carbón se intercambia entre la biosfera y la atmósfera por procesos naturales. Además, humanos tienen una influencia significativa en reservas de carbón y en movimiento de carbón debido a uso de terrenos y cambios en uso de terrenos. Deforestación resulta en una fuente neta en áreas tropicales de entre 0 y 2 Gt C anualmente, mientras que recrecimiento de selvas provee un sumidero de entre 0 y 1 Gt C cada año. Observaciones atmosféricas de dióxido de carbono se han utilizado para estimar que el movimiento neto global de carbón entre el biosfera terrestre y el atmósfera ha sido casi neutral tras la década de 1980, y que fue un sumidero neto de 0.7 Gt C cada año durante la década de 1990, comparado con una emisión de 6.1 Gt C anualmente de hidrocarburos.

El cambio reciente de selvas del norte a sumideros es un resultado de deforestación de muchísimo terreno de selvas en los 2000 años pasados, terrenos que apenas ahora están recuperando. (Véase la figura de cambio de área).

Figura 3.2b Conceptos ecológicos de producción principal bruto, producción principal neta, producción neta del ecosistema, y producción neta del biome, y términos correspondientes en ecosistemas de selva y agricultura.

Un sumidero importante que debe ser bien estudiado es el carbón en productos de selva. Cuadro dos abajo muestra las cantidades significantes de carbón que es almacenado en este reserva en varias regiones claves.

Cuadro 2. Almacenaje de carbón en vegetación de madero

| Región | Selvas y otros terrenos con madero | | | | | | Selva | | | | |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|------------|--------------|----------------------------------|
| | Masa de madero, Pg C | Masa de madero,, % total | Masa de arriba del tocón, Pg C | Masa del tocón y raíces, Pg C | Masa del tocón y masa de madero total | área, % áreas | Masa de madero, toneladas C ha-1 | Masa de arriba del tocón, Pg C | % de total | de área, Mha | Masa arriba del tocón, tn C ha-1 |
| Europa | 8.3 | 11 % | 7.0 | 1.3 | 84 % | 215 | 38.7 | 6.8 | 11 % | 176 | 38.5 |
| Del cual EU 15 | 5.0 | 6 % | 4.2 | 0.8 | 84 % | 136 | 36.5 | 4.1 | 7 % | 113 | 35.8 |
| CIS | 29.3 | 38 % | 23.6 | 5.7 | 80 % | 934 | 31.4 | 22.5 | 38 % | 856 | 26.3 |
| Norteamérica | 30.3 | 39 % | 26.4 | 3.9 | 87 % | 716 | 42.3 | 22.0 | 37 % | 462 | 47.7 |
| Asia Pacífico | 8.9 | 12 % | 7.8 | 1.1 | 88 % | 191 | 46.5 | 7.8 | 13 % | 189 | 41.1 |
| Total | 76.8 | 100 % | 64.8 | 12.1 | 84 % | 2056 | 37.4 | 59.1 | 100 % | 1682 | 35.1 |

3.1 Carbón almacenado en masa de madero

El carbón almacenado en masa de madero de selva y otros terrenos con madero en la región de TBFRA en el momento de este inventario fue 77 Pg (Cuadro 1). Hasta un 39% de esta reserva total se encuentra en Norteamérica, 38% en países CIS, 12% en la región de Asia Pacífica y 11% en Europa. En cuanto a países individuales, la reserva más grande se encuentra en Rusia, 28 Pg, o 36%, segundo fue los Estados Unidos, 19 Pg o 24%, y tercero fue Canadá, 12 Pg o 15% (Apéndice Cuadro B). El almacenaje en estos tres países forma 76% del total.

La masa de madero arriba del tocón en selvas u otros terrenos con madero fue 65 Pg carbón, que representa 84% del almacenaje total (Cuadro 1). La proporción varía entre 80% a 88% dependiendo a la región.

En selvas, sin incluir otros terrenos con madero, la reserva de carbón en masa de madero arriba del tocón fue 59 Pg (Cuadro 1). Esto fue 9% menos que el porcentaje para masa de carbón en maderos arriba del tocón en selva y otros terrenos con madero. El área de selva fue unos 18% menos que el área total de selva y otros terrenos con madero.

Por unidad de área de terreno, el promedio de almacenaje de carbón en masa de madero en selvas y otros terrenos con madero fue 37 toneladas por hectárea (Cuadro 1). Esta figura varía para distintas regiones, de 31 toneladas por hectárea en países CIS a 47 toneladas por hectárea en la región de Asia Pacífica. En cuanto a países individuos, la reserva de carbón por unidad de área de terreno fue más alta en países europeas, 163 toneladas por hectárea en Malta, 148 toneladas por hectárea en Austria, 114 toneladas por hectárea en Suiza y 101 toneladas por hectárea en Eslovenia (Apéndice Cuadro B). En los tres países con reservas más grandes, la reserva de carbón por unidad de área de terreno fue más o menos dos veces más grande en los Estados Unidos, 62 toneladas por hectárea, y en Rusia, 32 toneladas por hectárea, y Canadá 29 toneladas por hectárea.

- **Deforestación y degradación = una causa de cambio climático**

En las latitudes bajas, especialmente en regiones tropicales (incluyendo la América Central), la mayoría de emisiones provienen de deforestación y degradación. Las causas principales

de deforestación y degradación tropical son conversión de selvas a terrenos de cultivo y pasto, cosecha de productos de madero (para madero y combustible), desarrollo de la infraestructura como caminos, casas, presas, y también otras causas como minas y fogones de selva. Vea un ejemplo de la atribución de algunos países tropicales mostrado abajo.

Cuadro IV. Contribución Estimado de Actividades de Conversión Principales a Deforestación y Logging^a, AñoBase^b

| Actividad de Conversión | País | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|-----------|--------|----------|-----------|
| | Brasil ^c | China | India | Indonesia | México | Tanzania | Tailandia |
| Agricultura | 10 | 16 | 63 | 83 | 13 | 45 | 59 |
| Pasto | 72 | 0 | 21 | 0 | 49 | 15 | 6 |
| Cosecha ^d | 8 | 77 | 12 | 9 | 4 | 37 | 26 |
| Otro | 10 | 7 | 4 | 8 | 34 | 4 | 10 |
| Total ^e | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 101 | 101 |

Notas: a. La porción para México no incluye actividades de logging. 'Otro' refiere a áreas perdidas por fogones de selva.

b. La porción para Malasia no está disponible.

c. Refiere solamente a selvas y cerrados localizados en la región de Amazonas legal. No se incluye logging en estas porciones (información tomada de Browder (1988)).

d. Áreas usadas para logging selectivo se ajustan de acuerdo con la intensidad de remueva de masa de vegetación.

e. Suma de números no es 100% porque son redondeados.

Métodos y Modelos para Estimar Almacenaje de Carbono, Movimiento y Parámetros Claves en Selvas

Cuadro 3.2: Caracterización de Métodos Apropiados para Estimar Cambios en Almacenaje de Carbono (IPCC, 2000)

| Método/ Clase de Modelo | Escala de aplicab- ilidad | Plazo de tiempo | Parámetros evaluados | Basta para evaluar actividades de ARD | Aplicable si se escogen definiciones alternativas de ARD | Apropiado para evaluar suelos y actividades adicionales * | Apropiado para contabilidad pleno de Carbono | Densidad de tomar muestras | Costos | Precisión | Verifi- cación |
|-------------------------------|--|--------------------|--|--|--|---|--|---|--|---|--|
| Inventario de Selva | 0.01 - 10 ⁹ hectáreas | 1 - 100 años | Volumen e incremento de madero del tronco arriba del suelo, y cosecha y mortandad. Derivado de la masa del árbol entero | Si | Sí, si definiciones de selva son adaptadas | Principalmen- te para medidas adicionales que impactan el almacenaje de carbono en selvas como fertilizantes, entresacación, etc. | No, generalmente no incluye suelos | Base del Proyecto: 400 parcelas en 5000 hectáreas. Para la escala usado para inventario de países, una parcela = 1000 hectáreas | 0.05 - 0.2 EUS/ hectárea en la escala usado para inventario de países 11-18 EUS en niveles de proyecto (10,000s de hectáreas) | Area: s.e. = 0.4% Almacenaje creciendo: se 0.7% Incremento: se = 1.1% (Tomppo 1996) | fácil |
| Medidas de matraz | - 10 ⁹ hectáreas | Décadas | Concentración atmosférica de CO ₂ | No | No | No | No, no incluye productos de madero | Actualmente alrededor de 80 sitios en Hemisferio Norte | ? | El análisis de muestra es muy correcto | Verifi- cación del análisis es fácil |

| Cambio de remolino | - 100 hectáreas | Días - 3 años | NEE (por compartimento) | Sí, como verificación adicional | Sí, como verificación adicional | Sí, como verificación adicional | No, excluye cosecha y pudrición de productos de madera | Aun hay que determinar densidad de tomar muestras requerida para obtener un cambio que representa un área grande | 100,000 EU\$, por cada costos iniciales, 100,000 EU\$ cada año para costos de operación | 10 - 20% se ? | Fácil por datos de inventario de selva y análisis de suelos |
|--------------------|---------------------------------|----------------|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|--|---|--|---|
| Análisis de suelos | 0.1 - 10 ³ hectáreas | 10 - 1000 años | SOM → C almacenaje y cambios tras tiempo | Sí | Sí | Sí | Solamente evalúa un compartimento | Depende de heterogeneidad de suelos, aproximadamente 300 puntos de muestra por 1000 hectáreas una muestra por cada 10cm de profundidad | 0.3 muestra por hectáreas **, 1EU\$/hectáreas | 30% error del estimado total debido a escalas, no obstante, análisis por cada muestra es muy preciso | fácil |

| Medidas por satélite | 0.05 - 10 ⁹ hectáreas | Días - décadas | Área (a veces masa derivada y estimados de NPP). También área de disturbios como fuego | Sí | Sí, si la resolución soporta | Apropiado para controlar, por ejemplo, control de fuego. En general todos los parámetros no ARD que tienen que ver con área | No, principalmente para medir áreas | Cubierto por integral tamaño pixel | 0.0002 EU\$ por hectárea para el foto y la misma cantidad por labor para procesamiento del foto. Fotos hechos por aviones son más caras. | Preciso para evaluaciones de área (15%) masa de vegetación, más incertidumbre | Fácil c datos terreno válidos |
|------------------------|--|------------------------|--|---|---|---|--|------------------------------------|--|---|-------------------------------|
| Modelos del ecosistema | 0.1 - 1 hectáreas | Días - cientos de años | NPP, NEE por compartimiento | Cuando validado por datos medidas en el sitio | Sí, si se puede usar el modelo con nuevos parámetros para selva | Sí, cuando se puede modelar actividades de gerencia. | Sí, si se incluye todos los componentes del ciclo de carbón en el modelo | Generalmente cubierto incremental | Barato una vez que se desarrolle el modelo | Incierto - a muchas suposiciones | Difícil plazo largo |
| Modelos del Biome | Cuadrícula - 10 ⁹ hectáreas | Días - cientos de años | NPP, NEE por cuadrícula | No | No | No se incluye gerencia, pero frecuentemente se incluye suelos en estos modelos | Sí, si se incluye todos los componentes del ciclo de carbón en el modelo | Generalmente cubierto incremental | Barato una vez que se desarrolle el modelo | Incierto - a muchas suposiciones | Difícil |

* Actividades adicionales pueden ser: poca cultivación, drenaje de 'peatlands', reducir el impacto de logging, entresacación, reciclar productos de madera
 ** 0.3 muestra por hectárea proviene de 300 puntos de muestra por 10,000 hectáreas, 10 muestras por cada 10cm de profundidad.

Referencias