

MITIGACIÓ DEL CANVI CLIMÀTIC A TRAVÉS DELS BOSCOS D'ANDORRA

Encarrega: Govern d'Andorra

20/11/2009

CTFC

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	3
2. EL PAPER DEL SECTOR FORESTAL EN LA MITIGACIÓ DEL CANVI CLIMÀTIC	5
2.1. Embornals de carboni	5
2.2. Estratègies forestals de mitigació del Canvi Climàtic	6
2.2.1. Captura de carboni atmosfèric a través dels boscos	6
2.2.2. Conservació del carboni emmagatzemat en els boscos	8
2.2.3. Substitució de combustibles fòssils per biomassa forestal	11
2.2.4. Substitució per productes forestals	11
3. EL SECTOR FORESTAL EN EL MARC DEL PROTOCOL DE KYOTO	13
4. MECANISMES ALTERNATIUS DE MITIGACIÓ: ELS MERCATS DE CARBONI	17
4.1. Mercats de carboni regulats pel Protocol de Kyoto	17
4.1.1. Comerç d'Emissions Internacionals	18
4.1.2. Mecanisme d'Implementació Conjunta	19
4.1.3. Mecanismes de Desenvolupament Net (MDN)	19
4.2. Mecanismes alternatius de mitigació de caràcter voluntari	21
4.2.1. Reducció de les Emissions per Deforestació i Degradació (REDD)	24
4.2.2. Estàndards de qualitat	25
5. ESTUDI TÈCNIC	27
5.1. Introducció	27
5.2. Metodologia de càlcul	27
5.2.1. Biomassa aèria i radical	38
5.2.2. Fullaraca i matèria orgànica morta	41
5.2.3. Sòls	41
5.3. Resultats	43
5.3.1. Estimacions de les reserves totals de carboni en termes de CO ₂ fixat Andorra pels terrenys forestals	43
5.3.2. Estimacions del carboni acumulat anualment	49
5.3.3. Estimacions del carboni acumulat pel període de compromís	51
5.4. Limitacions de l'estudi	52
6. PROPOSTA AMPLIADA	53
7. REFERÈNCIES	54
8. ANNEXES	57

1 INTRODUCCIÓ

Des de fa aproximadament 150 anys, a la superfície de la terra està tenint lloc un escalfament important i ràpid en comparació amb tota la història climàtica coneguda. Segons l'IPCC (2001) durant els darrers 140 anys, s'estima que la superfície de la terra ha incrementat la seva temperatura a $0,6 \pm 0,2^\circ \text{C}$ i es preveu que abans del 2100 la superfície de la terra augmentarà entre $1.6 - 6.8^\circ \text{C}$ (IPCC, 2007).

Així mateix, la concentració atmosfèrica de CO_2 s'ha incrementat progressivament, augmentant de les 280 ppmv (parts per milió en volum) el 1750 (època pre-industrial) fins a les 367 ppmv el 1999 (IPCC, 2001). Això equival a un increment d'un 31% de la concentració de CO_2 . Segons l'IPCC (2001) la concentració actual de CO_2 atmosfèric és la més gran dels últims 420.000 anys i es preveu que durant el present segle la concentració de CO_2 es situï entre els 500 -700 ppmv.

Avui en dia, la gran majoria de la comunitat científica internacional considera que les activitats humanes i els increments de gasos d'efecte hivernacle associades a les mateixes són les causes d'aquest escalfament tan accelerat. De la mateixa manera, l'activitat humana pot contribuir a mitigar els efectes del canvi climàtic reduint les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) i incrementant les fixacions d'aquests a través de diferents estratègies. Una de les eines més eficients és mitjançant la gestió sostenible dels recursos forestals.

El paper dels boscos en la mitigació del Canvi Climàtic és molt important. D'una banda, els boscos poden actuar com a embornals de carboni: el carboni contingut en el sòl i a la biomassa dels ecosistemes forestals correspon amb aproximadament el 50% del carboni dels ecosistemes terrestres (Gallardo i Merino, 2007). Així mateix, també són els responsables de gran part de les emissions de GEH a l'atmosfera: segons Stern et al. (2006), el sector forestal i els canvis d'ús de la terra associats són els responsables de més del 18% de les emissions de GEH a l'atmosfera. En països com Indonèsia el 84% de les seves emissions provenen de canvis d'ús de terra i activitats forestals (Stern et al., 2006). Per tot això, els boscos i la gestió que s'hi faci, juguen un paper molt important en la mitigació del canvi climàtic.

Els **objectius** d'aquest estudi són: i) oferir una visió general de la importància del sector forestal a la mitigació del Canvi Climàtic i presentar alternatives encaminades a mitigar aquest canvi a través d'activitats forestals tant a escala nacional com internacional, ii) oferir una visió del paper del sector forestal dins del Protocol de Kyoto i iii) oferir dades aproximades de la quantitat de carboni que els boscos d'Andorra són capaços de fixar en els seus diferents reservoris.

Per això el present estudi s'ha dividit en 5 parts: i) El paper del sector forestal a la mitigació del Canvi Climàtic. En aquesta primera part s'introdueix el paper del bosc com a embornal de carboni així com les diferents estratègies de gestió forestal que es poden dur a terme per fomentar la mitigació del Canvi Climàtic. ii) El sector forestal dins del marc del Protocol de Kyoto. En aquesta segona part s'analitza el paper que juga el sector forestal dins del Protocol. S'analitzen les diferents activitats que són elegibles, les seves possibilitats així com les seves limitacions. iii) Els mecanismes alternatius de carboni. En aquesta tercera part s'introdueixen mecanismes alternatius de mitigació de carboni diferenciant entre els que es duen a terme dins del mercat regulat de Kyoto i aquells voluntaris duts a terme per estats, particulars o empreses. iv) Estudi tècnic on s'ha calculat el CO₂ fixat a les reserves de carboni present en la biomassa viva, matèria orgànica morta i sòl així com el carboni incorporat en els boscos anualment a través de la biomassa viva aèria deguts al creixement dels boscos d'Andorra. Aquestes dades podran ser utilitzades amb posterioritat per dissenyar una estratègia de mitigació de Canvi Climàtic a través dels sistemes forestals d'Andorra. v) Propostes generals per a l'estudi futur.



2 EL PAPER DEL SECTOR FORESTAL EN LA MITIGACIÓ DEL CANVI CLIMÀTIC

El potencial de mitigació de Canvi Climàtic dels boscos és enorme. Segons la FAO (2006), els boscos tenen el potencial d'absorbir el 10% de les emissions mundials de carboni previstes per a la primera meitat d'aquest segle a través de la seva biomassa, sòl i productes forestals.

2.1. Embornals de carboni

Els boscos tenen un paper essencial en el cicle de carboni ja que durant el seu creixement capturen el diòxid de carboni atmosfèric mitjançant la fotosíntesi i l'emmagatzemen en forma de carboni en la seva biomassa. Així mateix, el contingut de carboni del sòl, especialment el de la matèria orgànica, és un dels grans reservoris del planeta. S'estima que el contingut de carboni en els sòls del món és a prop de tres vegades superior al contingut en la vegetació (Gallardo i Merino, 2007). D'aquesta manera, els sistemes forestals constitueixen una de les majors reserves i potencials embornals de carboni.

El carboni s'acumula principalment en 4 grans reservoris (Ordóñez i Maserà, 2001):

- Carboni fixat a la vegetació: Correspon amb el carboni fixat tant a la biomassa aèria viva (fustes, fulles, branques, i escorça) com a les arrels d'arbres, vegetació arbustiva i herbàcies. Els boscos i matolls (i tots els productors primaris) en realitzar la fotosíntesi incorporen el CO₂ de l'atmosfera per construir la matèria orgànica. D'aquesta manera es genera biomassa (constituïda per carboni) i s'allibera oxigen.
- Carboni en descomposició: Correspon al carboni contingut tant en la biomassa morta que es troba en descomposició sobre el sòl (ex. fullaraca, branquillons, fruits) com al carboni contingut en el material vegetal mort (ex. arbres morts en peu, arbres caiguts).
- Carboni fixat a terra: Correspon amb els horitzons superiors, segons l'IPCC (1997) es considera fins a una profunditat de 30 cm. S'origina per descomposició de la matèria orgànica del sòl així com per la meteorització de la roca mare.

- **Carboni en productes:** Correspon amb el carboni contingut en els productes forestals derivats de l'aprofitament del bosc durant el seu temps d'ús (ex. bigues, taulers, palets, mobles, portes, finestres, paper de llibres).

$$\text{Carboni Total} = \sum (C_v + C_d + C_s + C_p)$$

2.2. Estratègies forestals de mitigació del Canvi Climàtic

La gestió forestal pot contribuir a la mitigació del Canvi Climàtic i a la reducció dels GEH a través de 4 estratègies generals que són detallades a continuació. Les diferents alternatives de gestió proposades a continuació poden, en combinació i a través d'una planificació específica, contribuir a l'increment de la capacitat de mitigació del sector forestal d'Andorra.

2.2.1. Captura de carboni atmosfèric a través dels boscos

Aquesta estratègia consisteix en que els sistemes forestals en creixement, en realitzar la fotosíntesi incorporen CO₂ atmosfèric per construir la seva matèria orgànica o biomassa. Gràcies als electrons que proporciona l'aigua i l'energia lumínica es redueix el CO₂ atmosfèric i és transformat en matèria orgànica que és emmagatzemada en forma de biomassa incrementant així les existències de la biomassa en peu.

Diferents mesures de gestió poden contribuir a l'increment de les existències de biomassa mitjançant la captura de carboni atmosfèric:

2.2.1.1. Increment de la superfície forestal

Aquesta captura de carboni té lloc mitjançant la conversió de terres agrícoles, que en general són fonts emissores de GEH, en terres forestals mitjançant programes de forestació i reforestació. En molts llocs d'Europa, la dinàmica d'abandonament de les terres agrícoles ha permès la reforestació de molts terrenys marginals. En llocs com Europa, des de la dècada dels 70, la recuperació de la superfície forestal ha aconseguit augmentar les reserves de carboni tant en la biomassa arbòria com en el sòl (Liski et al., 2002).

2.2.1.2. Sistemes agrosilvopastorals

La utilització de la agroforesteria consisteix a combinar arbres amb sistemes de producció agropastorals (conreus i pastures per al bestiar). D'aquesta manera, comparativament, s'incrementa la biomassa fixada en el conjunt del sistema incrementant així la quantitat de carboni emmagatzemat i de CO₂ fixat.

Des del CTFC, s'estan realitzant a Prats de Rei (Anoia) plantacions agroforestals de noguera per a producció de fusta de qualitat intercalat amb cereal. Es tracta de la primera experiència de recerca i transferència en sistemes agroforestals moderns que es fa a Catalunya, i està finançada pel Centre de la Propietat Forestal del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. L'objectiu és estudiar la interacció entre arbre i cultiu, especialment a nivell de processos de competència i facilitació. S'espera un major creixement dels arbres en sistemes agroforestals que a les àrees on no tinguin influència del cereal, així com un major creixement del cereal a les zones en les quals els arbres facin una aportació de nutrients portant a un major increment de la quantitat de carboni fixat pel sistema.

2.2.1.3. Regulació de la densitat de la massa

Els tractaments silvícoles com les aclarides permeten incrementar la taxa de segrest de carboni a la biomassa. Els objectius de les aclarides són anticipar la producció per a que el torn sigui màxim, incrementant les dimensions dels productes.

La biomassa, i per tant el carboni acumulat, que s'obté al final del torn dependrà del règim de aclarides (edat d'inici, tipus, nombre d'intervencions, pes de cada aclarida), és per això que el tipus de aclarida afectarà la quantitat de carboni fixat. Segons l'estudi realitzat en Bravo et al. (2007) es van dur a terme diferents règims de aclarides en masses de pi negre en el Sistema Central, Espanya i va comprovar que un règim intens de tres aclarides, amb edat d'iniciació 20 anys i de pes en àrea basimètrica d'un 35%, generava un major increment del carboni fixat.

A més, la biomassa de les aclarides pot passar a formar part de productes utilitzats. Aquests productes podran substituir a d'altres la producció dels quals va associada a una emissió més gran de carboni. Així mateix, els residus de tallada poden ser utilitzats com a energia alternativa als combustibles fòssils.

2.2.1.4. Modificacions de l'amplitud del torn

Un dels criteris més utilitzats per a la determinació del torn de tallada és l'anomenat de màxima renda en espècie, moment en què es maximitza la producció de fusta durant infinits cicles, d'aquesta manera el bosc es va tallant quan es maximitza la producció forestal i per tant la biomassa. Així mateix, aquest torn és compatible amb l'obtenció de béns i serveis que la societat demana (ex. conservació ecosistemes, bolets, caça). Segons Bravo et al. (2008), els torns llargs faciliten que la proporció de carboni en la tallada final en relació amb la obtinguda en les tallades de selecció intermèdies sigui major. A més, els torns llargs permeten obtenir arbres de grans dimensions destinats a productes de llarga vida útil (ex. construcció, mobles), on la fixació de carboni té lloc durant un període més llarg de temps.

No obstant, segons Bravo et al. (2007), si s'allarga massa el torn, comencen a aparèixer arbres morts, que afavoreixen la biodiversitat però que poden afectar de forma negativa als reservoris de carboni per dues raons: i) perquè la taxa de descomposició de la biomassa i per tant l'alliberament de CO₂ a l'atmosfera incrementa (varia amb l'espècie, mida de l'arbre, tipus de substrat, condicions estacionals) i ii) perquè pot incrementar el risc enfront a pertorbacions que poden provocar alliberaments bruscos de CO₂ com poden ser els incendis forestals .

2.2.2. Conservació del carboni emmagatzemat en els boscos

L'estratègia de conservació consisteix a mantenir les quantitats de carboni fixades en la biomassa i sòls dels ecosistemes forestals. D'aquesta manera es redueixen les emissions de GEH a les atmosferes derivades d'activitats forestals. Les activitats que més influència tenen sobre l'increment de GEH a l'atmosfera són principalment el canvi d'ús del sòl i els incendis forestals.

El canvi d'ús de sòl mitjançant la transformació dels ecosistemes forestals en ecosistemes agrícoles ha contribuït de manera molt significativa a l'increment de les emissions de CO₂ cap a l'atmosfera. Així mateix, les pertorbacions causades pel canvi d'ús del sòl constitueixen una reducció significativa del flux de carboni cap a terra, incrementant encara més el CO₂ emès a l'atmosfera. Segons Turner i Lambert (2000) el canvi d'ús del sòl associat a les tallades arreu o el conreu intensiu són de suma importància en aquest procés.

No obstant això la major part de les emissions relacionades amb el canvi d'ús de sòl tenen lloc principalment en països tropicals com són Brasil i Indonèsia (Stern et al. 2006). Estratègies de mitigació enfocades a aquesta problemàtica són tractades en l'apartat 4.2.1.

De la mateixa manera, els incendis forestals contribueixen en gran mesura a incrementar els GEH a l'atmosfera. Redueixen els reservoris de carboni de la biomassa viva i morta així com dels sòls i alliberen CO₂, CO, CH₄ i altres gasos a l'atmosfera. Encara que la causa dels incendis no sigui sempre antròpica, es pot mitigar el seu efecte duent a terme polítiques i mesures encaminades a una gestió que redueixi de manera preventiva la pèrdua de carboni en els incendis forestals.

Hi ha diferents instruments de gestió específica orientats a maximitzar el manteniment de les reserves de carboni:

2.2.2.1. Protecció de torberes i aiguamolls

La protecció de les torberes i aiguamolls contribueixen a la conservació del carboni en els ecosistemes terrestres ja que aquestes formacions retenen gran quantitat de carboni orgànic. Els aiguamolls es poden restaurar eliminant drenatges artificials i evitant abocaments, recuperant així les seves condicions hidrològiques originals. Aquesta protecció és molt important a nivell global ja que el 30% del carboni del sòl es troba en sòls negats i torberes (Bravo et al. 2007).

2.2.2.2. Conservació de los boscos naturals

La conservació dels boscos naturals especialment dels boscos madurs és molt important per evitar que el carboni acumulat sigui emès a l'atmosfera. Els boscos vells, amb arbres de gran diàmetre suposen un gran reservori de carboni, però no obstant això no incrementen la quantitat de carboni fixat pel fet de no dur-se a terme cap tipus d'aprofitament i doncs de renovació de la massa.

A Europa, l'abandonament de les zones rurals, la difícil accessibilitat i la baixa rendibilitat de la fusta ha permès que en algunes zones de muntanya s'estiguin emmagatzemant grans quantitats de carboni (Bravo et al., 2007). Així mateix, aquesta actuació és de vital importància en països de Llatinoamèrica, Àfrica i Àsia on les taxes

de desforestació són molt elevades i la conservació dels boscos pot incrementar de manera molt significativa la seva capacitat de mitigació.

2.2.2.3. Gestió forestal orientada a reduir el risc d'incendis

Els tractaments silvícoles preventius, orientats a disminuir el risc i intensitat dels incendis forestals poden ser una alternativa de gestió d'importància per conservar els reservoris de carboni i evitar grans emissions de GEH a l'atmosfera.

Una mesura de gestió podria anar encaminada a reduir el material combustible dels boscos mitjançant l'aprofitament de llenya i altres productes forestals fustaners. Així mateix, diversos investigadors suggereixen que l'ús de cremes prescrites pot ser una estratègia per reduir les emissions de GEH en regions amb tendència a incendis forestals. Segons Narayan et al. (2007) les emissions de GEH causades per incendis forestals a Europa es podrien reduir anualment passant de les 11 milions de tones de CO₂ sense cremes prescrites a 6 milions de tones de CO₂ amb elles. No obstant això Narayan et al. (2007) afirmen que les cremes prescrites només podran contribuir de manera significativa en la reducció de les emissions atmosfèriques de CO₂ a països amb què compten amb alta freqüència d'incendis forestals.

2.2.2.4. Gestió silvícola encaminada a minimitzar les pèrdues de carboni al sòl

Com s'ha indicat anteriorment, les tallades forestals, i en especial les tallades arreu, suposen grans emissions de carboni del sòl. No obstant això es poden dur a terme pràctiques encaminades a pal·liar en certa mesura aquestes pèrdues. Exemples d'aquestes pràctiques podrien ser la trituració i escampada in situ de les restes de tallada. Alguns investigadors com Lal (1997) estimen que, en els ecosistemes temperats, un 15% del carboni d'aquests residus pot ser transferit a la matèria orgànica del sòl a curt termini.

2.2.3. Substitució de combustibles fòssils per biomassa forestal

Aquesta estratègia consisteix a substituir la utilització de combustibles fòssils (ex. petroli, gas natural, carbó ...) per la utilització de biomassa forestal (ex. restes de tallada, fulles, branquetes). La biomassa en ser cremada, a diferència dels combustibles fòssils que tant en ser extrets com cremats emeten CO₂ a l'atmosfera, no genera un augment en la quantitat neta de gasos d'efecte hivernacle ja que es tracta d'un producte renovable. Un altre avantatge associat a la utilització de la biomassa és

que redueix la dependència dels combustibles fòssils. Aquesta substitució de biomassa es pot utilitzar tant per a aplicacions tèrmiques (generació de calor i fred, per sistemes d'absorció), aplicacions elèctriques o cogeneració. La utilització d'aquesta estratègia s'està dinamitzant en diferents regions del món, i en llocs com la Cerdanya o Solsona s'estan plantejant sistemes de calefacció per a edificis públics i en països com Suècia existeixen xarxes de calor.

2.2.3.1. Silvicultura intensiva a torn curt: Cultius energètics llenyosos

Aquesta activitat, amb densitats elevades, comporta produccions elevades de biomassa. Els gèneres *Salix sp* i *Populus sp* estan especialment indicats per a aquest tipus de cultius forestals. En països del nord d'Europa, s'estan portant a terme aquest tipus de plantacions, però al sud d'Europa això només es realitza de forma experimental. A més, a la Península Ibèrica tradicionalment s'ha dut a terme un aprofitament dels boscos de rebrot per a l'obtenció de combustible però aquestes activitats s'han anat abandonant en els últims anys. Per això, la mobilització de la fusta del bosc podria contribuir a satisfer la demanda de biomassa i a reduir el risc d'incendis forestals. Així mateix, l'aprofitament de les restes de tallada i restes de la indústria fustera és una altra alternativa de gran utilitat que, mitjançant la trituració en estelles o la compressió dels residus fins a formar unitats d'alta densitat anomenades "pellets", poden proveir gran part de la demanda de biomassa forestal .

2.2.4. Substitució per productes forestals

Aquesta estratègia contribueix a la mitigació del Canvi Climàtic per dues raons: i) en els productes forestals el carboni roman emmagatzemat durant tota la seva vida útil i posteriorment, pot ser reciclat sense ser emès a l'atmosfera i ii) es redueixen les emissions de GEH en substituir materials que per la seva fabricació necessiten grans entrades d'energia i tenen més emissions associades amb el procés de fabricació (ex. acer, formigó). La contribució d'aquesta estratègia en la mitigació del Canvi Climàtic dependrà en gran manera de la seva vida útil (temps que el carboni queda fixat en el producte) i del contingut en carboni del producte.

3 EL SECTOR FORESTAL EN EL MARC DEL PROTOCOL DE KYOTO

En les últimes dècades, com a conseqüència de l'augment de la concentració de GEH a l'atmosfera i amb l'objectiu d'impedir perturbacions perilloses de caràcter antropogènic en el sistema climàtic, alguns països van signar dos instruments jurídics: la Convenció Marc de Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC) i el Protocol de Kyoto (PK). A dia d'avui, i tot i que altres països com Austràlia i estats com Chicago estan dissenyant els seus propis sistemes de compromís amb el canvi climàtic, es tracta de la iniciativa de més envergadura. Per això s'ha considerat d'interès explicar el paper del sector forestal dins d'aquest mecanisme.

El Protocol de Kyoto té com a objectiu principal reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle dels països desenvolupats i països amb economies en transició signants (països de l'Annex 1 del Protocol). El principal compromís adquirit pels estats signants consisteix a assolir, per al primer període de compromís (2008-2012), una reducció total de les emissions de gasos hivernacle (diòxid de carboni, metà, òxid nitrós, hidrofluorocarburs, perfluorocarburs i hexafluorur de sofre) de com a mínim un 5% per sota dels nivells d'emissió de l'any 1990 (Art.3.1. del Protocol de Kyoto).

El sector forestal, com s'ha documentat amb anterioritat, juga un paper essencial en aquests compromisos i el seu paper com a element mitigador del Canvi Climàtic es contempla en el Protocol. És per això que el carboni acumulat a la biomassa és quantificable per complir amb els compromisos de Kyoto. No obstant, segons el Protocol, es comptabilitzaran com a carboni forestal quantificable *"... les variacions netes de les emissions per les fonts i l'absorció pels embornals de GEH que es deguin a l'activitat humana directament relacionada amb el canvi de l'ús de la terra i la silvicultura, limitada a la forestació, reforestació i desforestació ... calculades com a variacions verificables del carboni emmagatzemat en cada període de compromís ..."* (Art.3.3. PK).

Aquestes tres activitats (forestació, reforestació i desforestació) s'han d'haver realitzat amb posterioritat a l'1 de gener de 1990 i amb anterioritat al 31 de desembre de l'últim any del període de compromís per poder ser comptabilitzades com a tals. Així mateix, les parts tenen l'obligació d'informar de les emissions i absorcions relacionades amb aquestes tres activitats segons s'indica en el Art.7. i Art.8. del Protocol.

De manera complementària i segons la conveniència per a cada país, a l'Art.3.4. també es contemplen altres activitats relacionades amb el canvi de l'ús de la terra i la silvicultura (d'ara en endavant LULUCF per les sigles en anglès *Land Use, Land Use Change and Forestry*), els increments de carboni associats també podran ser comptabilitzats. Tanmateix, aquestes activitats són addicionals a les anteriors i de caràcter opcional (cada país pot triar una, totes o ningunes per complir els seus compromisos). Aquestes activitats són: i) Gestió de terres agrícoles, ii) Gestió forestal, iii) Gestió de pastures i iv) Revegetació. Les definicions relacionades amb les activitats LULUCF, segons la decisió 16/CMP.1 són les següents:

Bosc: Superfície mínima de terres entre 0,05 i 1,0 hectàrees (ha), amb una coberta de copes (o una densitat de població equivalent) que excedeix del 10 al 30% i amb arbres que poden arribar a una alçada mínima entre 2 i 5 metres (m) a la seva maduresa in situ. Un bosc pot consistir en formacions forestals denses, on els arbres de diverses alçades i el sotabosc cobreixen una proporció considerable del terreny, o bé en una massa boscosa clara. Es consideren boscos les masses forestals naturals i totes les plantacions joves que encara no han assolit una densitat de copes entre el 10 i el 30% o una alçada dels arbres entre 2 i 5 m, així com les superfícies que normalment formen part de la zona boscosa però no tenen temporalment de massa forestal a conseqüència de la intervenció humana, per exemple l'explotació, o de causes naturals, però que s'espera tornin a convertir-se en bosc. Cada país ha de definir, segons els límits impostos la superfície mínima, coberta de copes i alçada mínima de la massa.

Forestació: Conversió, per activitat humana directa, de terres que no tenien bosc, durant un període de com a mínim 50 anys, en terres forestals mitjançant plantació, sembra o foment antròpic de planters naturals.

Reforestació: Conversió per activitat humana directa de terres no boscoses en boscoses mitjançant plantació, sembra o foment antròpic de planters naturals, en terres que van estar aforestades però que actualment estan desforestades. Durant el primer període de compromís, les activitats de reforestació es limitaran a la reforestació de terrenys mancats de boscos a l'1 de gener de 1990.

Desforestació: Conversió de terres boscoses a no forestals per activitat humana directa.

Gestió de terres agrícoles: Pràctiques en terres dedicades a cultius agrícoles i en terres mantingudes en reserva o no utilitzades temporalment per a la producció agrícola.

Gestió forestal: Pràctiques per a l'administració i ús de terres forestals per tal de permetre que el bosc compleixi les seves funcions ecològiques (inclosa la diversitat biològica), econòmiques i socials de manera sostenible.

Gestió de pastures: Pràctiques en terres dedicades a la ramaderia per manipular la quantitat i el tipus de vegetació i de bestiar produïts (ex. reg, fertilització de pastures).

Revegetació: Activitat humana directa realitzada amb l'objectiu d'augmentar el carboni emmagatzemat en determinades zones mitjançant l'establiment de vegetació en una superfície mínima de 0,05 ha i que no s'ajusta a les definicions de forestació i reforestació (ex. marges d'autopistes, parcs).

No obstant això, no tot el carboni que es fixa de l'atmosfera a través d'aquestes activitats és comptabilitzable. Les normes de comptabilització del Protocol de Kyoto estableixen que només aquelles absorcions produïdes per activitats realitzades a partir de 1990, directament induïdes per l'home i, sobretot, verificables, poden ser comptabilitzades. A més, només apareixeran les absorcions produïdes per aquestes activitats en el període de compromís (2008-2012), és a dir, no es comptabilitza el carboni emmagatzemat, sinó que es comptabilitza l'augment de carboni absorbit que compleix amb els requisits que estableix el Protocol, durant el període de compromís. Les regles, modalitats i possibilitats de quantificació d'aquestes activitats estan regulades per la decisió 16/CMP.1 que s'adjunta a l'Annex 1. Les especificacions per al cas d'Espanya, estan detallades en el quadre següent.



Taula 1: Especificacions de la comptabilització per activitats LULUCF per Espanya

Definició de bosc	<p>Coberta mínima de copes: 20%</p> <p>Unitat mínima de superfície: 1 ha</p> <p>Altura mínima arbres en la seva maduresa: 3 m</p>
Activitats addicionals (Art.3.4)	<p>Gestió de boscos</p> <p>Gestió de terres agrícoles</p>
Límit màxim d'absorció per activitats LULUCF	2% de les emissions de l'any base
Límit màxim d'absorció a través de gestió de boscos	0.67 M t C /any (multiplicat per 5, pel període de compromís 2009-2012)

El Protocol de Kyoto contempla l'estratègia de mitigació a través de substitució de combustibles fòssils per biomassa a través del sector de l'energia i no a través del sector forestal. Pel que fa a l'estratègia de mitigació per utilització de productes forestals, i malgrat l'important paper que juguen en la comptabilitat del carboni global, a dia d'avui aquesta estratègia no és comptabilitzable a través dels mecanismes de Kyoto. No obstant això, es preveu que sigui a partir del segon període de compromís (any 2013) quan es pugui incloure en la comptabilització l'efecte mitigador del Canvi Climàtic dels productes fusta a nivell global.

Així mateix, a més de la reducció de les emissions per les fonts i l'absorció pels embornals dutes a terme dins del propi país signant, el Protocol de Kyoto contempla tres mecanismes que donen flexibilitat a aquestes accions. Aquests mecanismes, basats en el mercat de crèdits de carboni, són: i) El Comerç d'Emissions Internacionals, ii) Els Mecanismes de Desenvolupament Net (MDN) i iii) La Implementació Conjunta (JI). Aquests mecanismes de flexibilitat són instruments de caràcter complementari a les mesures i polítiques internes que constitueixen la base fonamental del compliment dels compromisos amb el Protocol de Kyoto.

4 MECANISMES ALTERNATIUS DE MITIGACIÓ: ELS MERCATS DE CARBONI

A més del paper que el sector forestal pot realitzar a la mitigació del canvi climàtic a nivell nacional, hi ha altres mecanismes alternatius de mitigació a escala internacional. Aquests mecanismes consisteixen en activitats forestals de mitigació realitzades ja sigui en països amb economies de transició o en països en desenvolupament però que són finançades pels països industrialitzats. La justificació de la realització d'aquestes activitats de reducció d'emissions i absorció de GEH rau en el caràcter global que suposa el repte del Canvi Climàtic, essent l'efecte del mateix independent de l'origen de les reduccions d'emissions sobre el sistema climàtic.

Dins d'aquests mecanismes alternatius diferenciarem: i) Aquells que estan regulats per Kyoto i que per tant poden ser comptabilitzats i comercialitzats per al compliment dels compromisos i ii) Els mecanismes de caràcter voluntari que no estan regulats per cap mecanisme ni mercat específic però que compensen qualsevol mesura activa encaminada a la mitigació del Canvi Climàtic: conservació, gestió i lluita contra la desforestació i degradació dels boscos.

4.1. Mercats de carboni regulats pel Protocol de Kyoto

La forma de quantificar els objectius de reducció d'emissions de Kyoto es fa a través de les "quantitats assignades". A cada país, segons els compromisos adquirits, se li assignen unes emissions per al període de compromís. Aquestes emissions que té permeses són anomenades AAU (*assigned amount units*)¹. Quan aquestes quantitats

¹ Així mateix i per tal de diferenciar l'origen de les unitats que poden ser transferides a través dels mecanismes de flexibilitat, es nomenen els diferents tipus de reducció o fixació d'emissions de la manera següent:

- RMU (*Removal unit*): equival a 1 tn de CO₂ generada per activitats del sector LULUCF dins del propi país.
- ERU (*Emission reduction unit* o unitats de reducció d'emissions): equival a 1 tn de CO₂ generada per projectes de Implementació Conjunta.

permeses són més grans de les que s'han utilitzat per al funcionament i desenvolupament econòmic dins d'un país, es permet la venda d'elles a través dels anomenats mecanismes de flexibilitat.

El Protocol de Kyoto preveu tres mecanismes de flexibilitat basats en el mercat, que són de caràcter complementari a les polítiques internes dels països de l'Annex 1: El Comerç d'Emissions Internacionals, els Mecanismes de Desenvolupament Net (MDN) i la Implementació Conjunta (JI).

D'aquesta manera, els països que considerin especialment difícil o costosa la reducció en el seu propi país, podran optar per reduir les emissions d'altres, resultant generalment una activitat més econòmica.

4.1.1. Comerç d'Emissions Internacionals

El Comerç d'Emissions Internacionals (article 17 del Protocol de Kyoto) és un mecanisme essencial per al funcionament del Protocol, ja que converteix els drets d'emissió (cada unitat o dret d'emissió corresponents a una tona equivalent de CO₂) en un valor transferible comercialment a preu de mercat. Així els participants en el Protocol de Kyoto (països de l'Annex 1) poden comprar més drets si ho consideren necessari per dur a terme aquelles activitats que produeixen emissions (o bé si volen retirar del mercat per evitar les emissions equivalents), o vendre'ls en el cas de tenir més drets del que la seva activitat emissora finalment requereix. No obstant això, aquest mecanisme és d'ús intern entre els països que han ratificat el protocol i no és d'aplicació amb la resta de països.

-
- CER (*Certified emission reduction* o reducció d'emissions certificades): equival a 1 tn de CO₂ generada per activitats de projectes de MDN. Els CER del MDN forestal són CER amb una característica especial i és que té venciment, ja que el carboni emmagatzemat a la biomassa pot tornar en el futur a l'atmosfera (no permanència). A partir d'aquest fet va ser necessari crear una unitat o crèdit de carboni que, a diferència dels projectes en el sector energètic, és de caràcter temporal i per tant un cop caduquin han de ser reemplaçats per altres crèdits. Aquests crèdits temporals poden ser cert, quan el venciment té lloc a curt termini o CERLER quan són vàlids fins al final del període d'acreditació del projecte.

Totes elles, igual que les AAU equivalen a 1 tn de CO₂.

4.1.2. Mecanisme d'Implementació Conjunta

El mecanisme d'Implementació Conjunta (Art. 6 del Protocol de Kyoto) consisteix en la inversió d'un país de l'Annex I en projectes de reducció d'emissions o fixació de carboni en un altre país també membre de l'annex I com a alternativa a reduir o fixar les seves emissions internament. Es preveu que la major part d'inversions tingui lloc en països de l'Annex I però amb economies en transició, d'aquesta manera, els països inversors obtenen ERU (que es resten dels AAU del país amfitrió) a un preu menor del que li hagués costat en l'àmbit nacional la mateixa reducció d'emissions i els països amb economies en transició es beneficien de les inversions en tecnologia neta. Els projectes que es poden beneficiar d'aquest mecanisme són els desenvolupats a partir del 2000 però els ERU només poden ser emesos per utilitzar amb posterioritat al 2008. No obstant això, els projectes forestals de Implementació Conjunta forestal no han tingut molt èxit i fins al moment només hi ha un projecte forestal d'aquestes característiques a Romania. Aquest projecte ha consistit en la reforestació de 6.000 ha de terres de cultiu degradades propietat de l'estat. La reforestació es va dur a terme a través d'espècies semi-natives (*Robinia pseudoacacia*) i natives (ex. *Populus alba*, *Populus nigra*, *Salix sp.*, *Quercus sp.*). El carboni acumulat per les activitats del projecte van ser de 410.046 t CO₂e per al primer període de compromís.

4.1.3. Mecanismes de Desenvolupament Net (MDN)

Els Mecanismes de Desenvolupament Net (MDN) són inversions a través de projectes que un país de l'Annex I realitza en projectes de reducció d'emissions o fixació de carboni en països en desenvolupament. Així, els països en desenvolupament venen l'equivalent de crèdits de carboni o reduccions certificades d'emissió (CER) que no són emesos a l'atmosfera com a conseqüència de la realització del projecte mentre el país comprador utilitza aquests crèdits per aconseguir els seus compromisos. D'aquesta manera, els països en desenvolupament aconseguen suports i incentius per promoure el desenvolupament sostenible i la transferència de tecnologies netes proporcionant, el país comprador dels drets d'emissió, major flexibilitat per complir els seus compromisos. Els MDN són l'únic mecanisme del Protocol de Kyoto a través del qual els països en desenvolupament poden participar en el mercat regulat internacional de carboni.

Els projectes que poden tenir lloc dins dels MDN es divideixen en els sectors especificats en el quadre 1 (amb el nombre de projectes registrats fins a la data).

Taula 2: Distribució de projectes MDN segons àmbit sectorial. Font: <http://cdm.unfccc.int>

Àmbit Sectorial	Projectes registrats
1. Indústria energètica (fontes renovables i no renovables)	1382
2. Distribució d'energia	0
3. Demanda energètica	25
4. Indústria manufacturera	106
5. Indústria química	60
6. Construcció	0
7. Transport	2
8. Producció minera	22
9. Producció de metalls	6
10. Emissions fugitives de combustibles (sòlids, líquids i gasosos)	131
11. Emissions fugitives per la producció i consum de hidrofluorocarbonis i hexafluorur de sofre	22
12. Utilització de solvents	0
13. Tractament i eliminació de residus	404
14. Forestació i reforestació	8
15. Agricultura	123

Respecte al sector LULUCF, les úniques activitats que, fins al moment i per al primer període de compromís, poden ser realitzades en els projectes MDN són la forestació i reforestació. No obstant això, es preveu que en següents períodes de compromís també es contempli la prevenció de la desforestació i la protecció dels boscos naturals. Les modalitats, procediments i definicions de les mateixes vénen en la decisió 19/CP.9 annexada en el present document. Així mateix, hi ha una limitació de compensació màxima de projectes MDN de forestació i reforestació com indica la decisió 17/CP.7. *"... Per al primer període de compromís, el total de les addicions a la quantitat atribuïda d'una part derivades d'activitats admissibles d'ús de la terra, canvi d'ús de la terra i silvicultura en l'àmbit del mecanisme de desenvolupament net no serà superior al 1% de les emissions de l'any base d'aquesta Part, multiplicant per cinc"*

Com es pot apreciar en el quadre 2, a dia d'avui, només han estat registrats 8 projectes de forestació i reforestació en el marc MDN i 7 d'ells han estat registrats entre 2007-2009. Això es deu a l'estructura i funcionament especial d'aquests

projectes dins del MDN ja que: i) Les modalitats i procediments per als projectes forestals van ser definits dos anys després de les modalitats per a projectes de reducció d'emissions, ii) Les metodologies de càlcul per quantificar els increments de fixació del carboni són relativament complexes, iii) Els crèdits que s'emeten a través d'aquest tipus d'activitats són crèdits temporals (vulnerables a incendis, plagues ...) iv) Són crèdits que es fan efectius a llarg termini ja que els arbres creixen a poc a poc (20-50 anys per poder ser comptabilitzats).

No obstant això es preveu que durant les futures negociacions de la CMNUCC, les característiques dels MDN forestals vagin canviant. Mentrestant, per les limitacions anteriorment esmentades i per l'interès de governs, empreses i societat civil a invertir en activitats de conservació ambiental com a estratègia de mitigació del Canvi Climàtic, en els darrers anys s'ha anat consolidant un mercat en paral·lel al de Kyoto, també conegut com a mercat voluntari de carboni, les activitats i metodologies tenen moltes similituds amb els mecanismes de flexibilitat de Kyoto.

4.2. Mecanismes alternatius de mitigació de caràcter voluntari

En paral·lel als mercats regulats, hi ha un altre tipus de mercat emergent de carboni, de caràcter voluntari els compromisos dels quals no venen imposats per llei. Aquest mercat voluntari es caracteritza per ser un mercat on, la demanda de crèdits de carboni vénen d'estats, negocis o persones que decideixen, voluntàriament, compensar parcialment o totalment les seves emissions.

El mercat voluntari de carboni ha experimentat un gran creixement en els darrers anys. Segons Bryan et al. (2008), el volum de transaccions del mercat voluntari s'ha incrementat de 5 Mt CO₂e el 2005 a 42 Mt CO₂e el 2007. En aquest mateix any, els crèdits de carboni generats provenien de diferents orígens sent el 18% del sector LULUCF, 18% d'activitats d'eficiència energètica, un 20% d'energies renovables i un 16% de reducció de metà (Hamilton et al. 2008). La importància de la mitigació del sector forestal en aquest mercat és gran. Cada vegada més empreses, institucions i fins i tot la ciutadania dels països del nord estan utilitzant la compensació d'emissions com a part de les seves estratègies per minimitzar el seu impacte en l'ambient o empremta ecològica. De la mateixa manera, empreses, institucions i ONG de països del sud han posat la seva mirada en aquests mercats com un mecanisme que atén tant el de la lluita contra el canvi climàtic com el de la lluita contra la pobresa. Com es

pot veure a la figura 3 i 4, la quantitat de crèdits venuts a través de projectes forestals en el mercat voluntari és més gran que en el mercat regulat per Kyoto.

Figura 1: Volum de transacció per tipus de projecte en el mercat voluntari. Font: Hamilton *et al.*, 2008

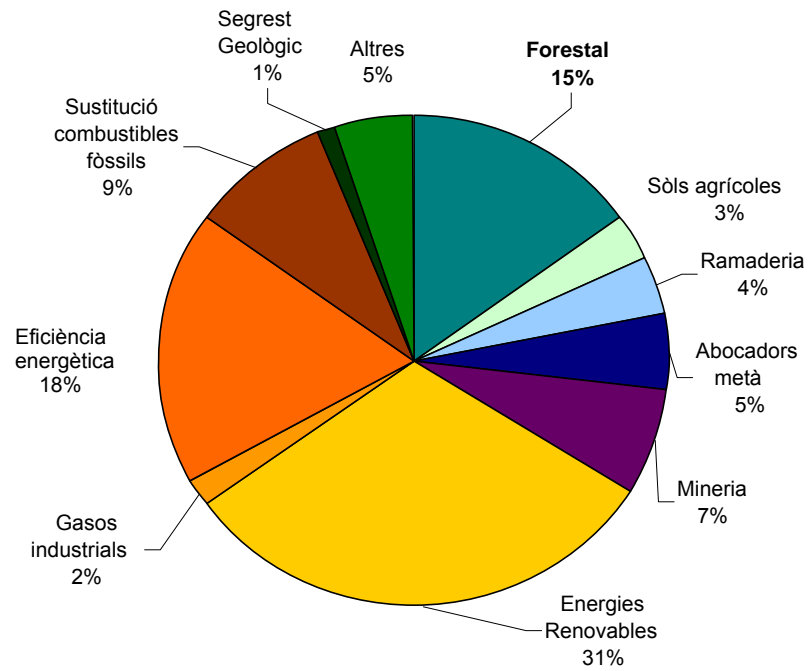
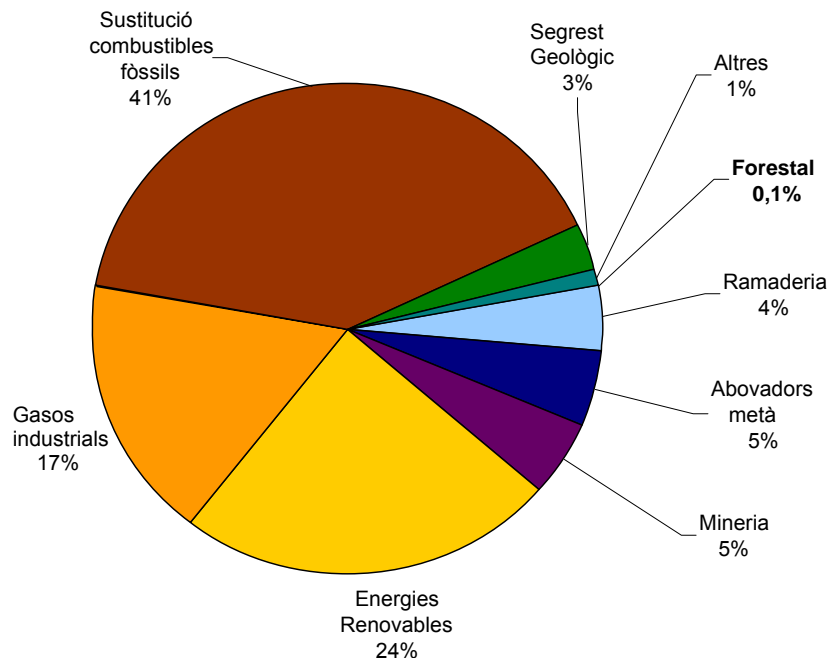


Figura 2: Volum de transacció segons projecte en el MDN. Font: Capoor et al., 2008.



Els compradors de crèdits de carboni dins del mercat voluntari es caracteritzen per ser compradors dispersos, però també hi ha iniciatives importants on els compradors el realitzen sota un esquema determinat, com són el Forest Carbon Partnership Facility (FCPF), iniciativa del Banc Mundial, Norwegian Government Fund, Australian Global Forest Fund o la Chicago Climate Exchange (CCX) entre d'altres.

Els principals compradors de crèdits de carboni voluntaris en el mercat dispers són, d'acord amb Neeff et al. (2007):

- Grans companyies compren crèdits de carboni voluntaris per raons de responsabilitat social corporativa. Els mercats voluntaris proveeixen una oportunitat per millorar la imatge pública i poden així constituir-se en una eina de màrqueting. Addicionalment, els mercats voluntaris poden proveir una oportunitat d'aprenentatge per a una potencial participació futura en el mercat regulat.
- Governos nacionals, regionals i locals han comprat crèdits de carboni voluntaris per demostrar un compromís que va més enllà dels sistemes regulats.
- Esdeveniments, declarar esdeveniments neutrals en carboni s'ha convertit en una manera popular de promoure conferències, esdeveniments esportius, concerts, etc.

- Particulars, cada vegada més, els particulars compensen les seves empremtes d'emissions, en especial les emissions dels vols que realitzen, com a part d'un estil de vida sostenible.

Les diferents iniciatives de mitigació forestal que s'estan duent a terme dins d'aquests mercats comprenen una varietat d'activitats entre les quals destaquen els projectes de forestació i reforestació esmentats amb anterioritat, els projectes de reducció d'emissions per desforestació i degradació i la gestió forestal sostenible associada a això. Una de les iniciatives més importants i que està donant molt que parlar sobre la seva inclusió o no dins dels mercats regulats de Kyoto és la Reducció d'Emissions per Desforestació i Degradació.

4.2.1. Reducció de les Emissions per Deforestació i Degradació (REDD)

La Reducció de les Emissions per Desforestació i Degradació dels boscos o Desforestació Evitada és una de les activitats que destaca per la seva eficàcia en combatre el Canvi Climàtic. Tant l'Informe Stern et al. (2006) com l'Informe Eliasch (2008), identifiquen la desforestació evitada com la proposta més econòmicament efectiva per reduir l'emissió de GEH a curt termini. De la mateixa manera, les emissions associades a la desforestació i degradació del sòl són les responsables d'aproximadament el 18% de les emissions mundials i a països com Indonèsia el 84% (Stern et al., 2006). La raó per la qual es considerava important la inclusió de la desforestació evitada en el mercat de carboni era principalment l'ésser considerada una eina molt efectiva per a la reducció de GEH.

Conscients de l'interès d'aquesta activitat, va sorgir la iniciativa REDD (Reducing Emissions from deforestation and Degradation). Aquesta iniciativa consisteix en portar a terme polítiques, plans i projectes amb activitats dirigides a prendre mesures orientades a evitar la desforestació i la degradació i per tant l'emissió de GEH a l'atmosfera (per exemple millorant les capacitats locals en l'aprofitament forestal, generant una xarxa de guardaparcs).

L'origen de REDD va tenir lloc a l'onzena Conferència de les Parts celebrada a Montreal, 2005. Allà, la Coalició de les Nacions de Boscos Tropicals va proposar, per primera vegada, el tenir en compte la desforestació evitada dins del protocol de Kyoto o del protocol post-2012. Des de llavors el debat sobre els REDD ha anat guanyant força entre ONG, organismes públics i centres de recerca. Durant la quinzena

Conferència de les Parts, que va tenir lloc a Poznan el desembre de 2008, els membres de l'UNFCCC van consensuar que els mecanismes REDD serien inclosos com a mecanisme de mitigació del canvi climàtic per al règim post-Kyoto 2012. No obstant això, a dia d'avui, encara no s'ha arribat a un consens pel que fa a les definicions tècniques i metodològiques que involucra el concepte REDD i per tant aquestes qüestions claus encara han de ser discutides en les pròximes negociacions a Copenhaguen.

Un exemple de projecte REDD és el que l'ONG IDESAM ha dut a terme a Manaus, Amazònia brasilera. Aquest projecte ha consistit en la creació d'una reserva de 589.612 hectàrees en una zona d'alta pressió antròpica on es preveia un increment en la taxa de desforestació. El principal objectiu de la creació de la reserva és conservar la biodiversitat de la zona millorant la qualitat de vida de les comunitats que hi viuen. Entre les diferents activitats que s'estan duent a terme per aconseguir aquest objectiu, hi ha el compromís de l'estat de dur a terme mesures actives encaminades a evitar la desforestació i la seva monitorització. Els crèdits associats amb la mitigació del Canvi Climàtic han estat quantificats i verificats (a través d'estàndards de qualitat) a 189.767.027 t de CO₂e. Els compradors d'aquests crèdits són la cadena hotelera Marriott.

4.2.2. Estàndards de qualitat

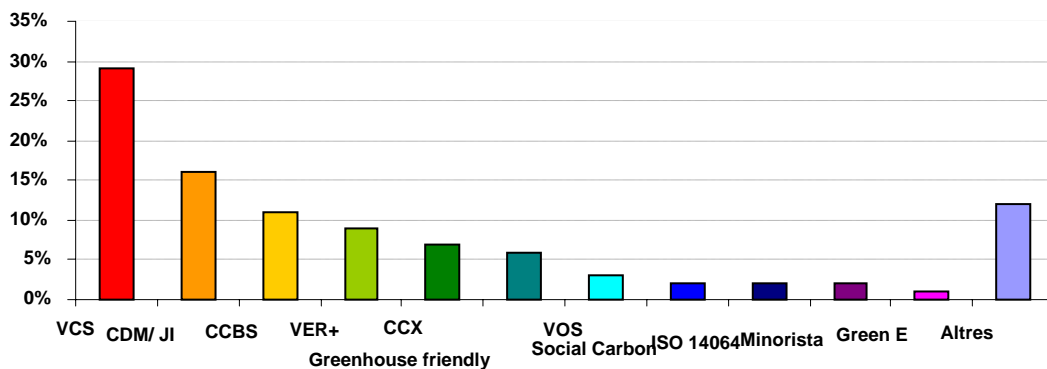
Pel que fa a la qualitat dels crèdits forestals voluntaris, en no comptar amb la qualitat de seguiments i vigilàncies característiques dels crèdits regulats com són els del MDN, generalment, es fa necessària la utilització d'estàndards que acreditin la qualitat dels mateixos.

La importància dels estàndards rau en donar qualitat a la compensació així com en portar un control i auditoria d'aquesta qualitat. Així mateix és una manera d'assegurar al comprador que els criteris de qualitat aplicats són prou bons i transparents. És per això que gran part dels crèdits de carboni forestals, emesos en el mercat voluntari, es troben certificats. Segons l'estudi realitzat per Hamilton et al. (2008) els crèdits que tenen algun tipus d'estàndard corresponen amb el 87% del total.

Així mateix, els estàndards forestals asseguruen que es compleixin criteris de qualitat establerts en els MDN com són: 1) El compliment de l'addicionalitat², 2) L'aplicació d'una adequada metodologia per comptabilitzar i establir la línia base³ i les fuites⁴, 3) La permanència de les remocions de carboni, 4) La prevenció de la doble comptabilitat dels crèdits, 5) La verificació que els crèdits de carboni són comptabilitzats en el moment adequat així com 6) La realització d'estudis d'impacte socioeconòmic i ambiental de la realització del projecte.

Els estàndards més utilitzats fins al moment, en percentatge respecte al volum de transacció, vénen representats a la figura 5.

Figura 3: Volum de transacció segons estàndard utilitzat. Font: Hamilton et al., 2008.



² Addicionalitat: Les activitats d'un projecte són addicionals si les emissions de GEH de les fonts són reduïdes per sota del que hauria passat en absència del projecte

³ Línia base: La suma dels canvis en les existències de carboni que haurien tingut lloc si no es realitzés el projecte previst

⁴ Fuites: Increment de les emissions de GEH que tenen lloc fora de les fronteres del projecte que s'està realitzant que són mesurables i atribuïbles a les activitats del projecte MDN

5 ESTUDI TÈCNIC

5.1. Introducció

En el present estudi es realitza: i) una estimació dels estocs o quantitat de carboni emmagatzemat per superfície forestal d'Andorra, ii) estimació de l'increment de carboni que és fixat anualment per la superfície forestal d'Andorra, iii) estimació del carboni emmagatzemat sota el supòsit d'un període de compromís de quatre anys.

L'origen de les dades que han estat utilitzats per aquest estudi és enunciat en cada apartat. No obstant això, no disposant d'un inventari forestal nacional a Andorra, és important tenir en consideració el aproximatiu de les dades sent valors extrapolats a partir de zones i espècies amb característiques el més semblants possibles de boscos on les dades si existeixen (principalment de Catalunya). Seria convenient la realització d'un estudi posterior amb dades específiques per als ecosistemes forestals d'Andorra per poder obtenir valors més precisos i coherents amb la zona de l'estudi.

5.2. Metodologia de càlcul

Els diferents dipòsits de carboni dins dels ecosistemes forestals que s'han de tenir en compte per quantificar els estocs de carboni vénen especificats a la taula 6.



Taula 3. Diferents reservoris de carboni a quantificar en els inventaris de carboni (IPCC, 2006)

RESERVORIS		DESCRIPCIÓ
Biomassa	Biomassa aèria	Biomassa de fulles, branques i troncs en peu (IFN3, Tercer Inventari Forestal Nacional de Catalunya)
	Biomassa radical	Biomassa de la soca amb gran part d'arrels gruixudes (Montero et al., 2006)
Matèria orgànica morta	Fusta morta	Biomassa llenyosa no viva que no està continguda en la fullaraca, ja sigui en peu, estesa a terra o soterrada. La fusta morta inclou la fusta estesa a la superfície, les arrels mortes i les soques de 10 cm de diàmetre o més (IPCC, 2006).
	Fullaraca	Inclou la capa de fullaraca com se la defineix habitualment en les tipologies de sòls. Les arrels vives fines per sobre del sòl mineral o orgànic s'inclouen amb la fullaraca quan no se les pot distingir d'aquesta última empíricament (IPCC, 2006).
Sòls	Matèria orgànica del sòl	Inclou el carboni orgànic contingut en sòls minerals fins a assolir la roca mare, sent com a màxim 110 cm aproximadament (Montané et al., 2007), Garcia-Pausas et al. (2007), Rovira et al. (2007)

El contingut de carboni total per a cada classificació forestal serà:

$$C_{\text{total}} = \sum (C_{\text{BIOMASSA AÈRIA}} + C_{\text{BIOMASSA RADICAL}} + C_{\text{FUSTA MORTA}} + C_{\text{FULLARACA}} + C_{\text{M.O. SÒL}})$$

Per realitzar els càlculs del contingut de carboni tant en la biomassa aèria, s'han utilitzat les dades ofertes per (IFN3, Tercer Inventari Forestal Nacional de Catalunya) i L'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya, IEFC. A la taula 7 es mostren les concentracions mitjanes de carboni en % (en g de C/100 g de mostra, en pes sec) segons les diferents fraccions de la biomassa aèria i de la biomassa total.

Taula 4: Contingut de carboni en les diferents fraccions de biomassa aèria. Dades a partir de les espècies de Catalunya. CREAM (1997-2009). % (en g de C/100 g de mostra, en pes sec)

Espècie	Fusta	Escorça	Fulles	Branquillons	Biomassa total
<i>Abies alba</i>	n.d	n.d	n.d	n.d	0,51
<i>Pinus uncinata</i>	50,92	53,60	51,87	52,59	0,51
<i>Pinus sylvestris</i>	50,87	53,93	51,30	51,22	0,51
<i>Pinus nigra</i>	50,89	53,58	52,58	51,87	0,52
<i>Pinus pinaster</i>	51,11	53,41	50,75	51,62	0,52
<i>Quercus ilex</i>	47,53	46,75	50,27	48,16	0,49
<i>Quercus humilis</i>	48,51	46,72	48,75	48,25	0,48
<i>Quercus petraea</i>	48,44	46,50	49,03	48,32	0,48
<i>Fagus sylvatica</i>	48,58	46,69	48,81	48,84	0,49
<i>Castanea sativa</i>	48,42	47,62	48,85	48,27	0,48

Així mateix, segons l'IPCC (2006) per al càlcul de la conversió de C a CO₂ s'estimarà per la relació del pes molecular. Ja que una molècula de diòxid de carboni,

$$\text{CO}_2 = \text{C} + 2 \text{O} = 12 \text{ g} + (2 \times 16) \text{ g} = 44 \text{ grams}$$

$$44 \text{ grams} / 12 \text{ grams} = 3,66666666$$

Per tant, estimem per una t de Carboni,

1 t C = 3,66 t CO₂

Les existències de carboni en cada un dels reservoris dels sistemes forestals d'Andorra s'ha calculat a través de mètodes i informació diferent, que vénen especificats en els següents apartats.

Las existències de carboni als ecosistemes depenen de dos variables principals: superfície ocupada pel tipus de vegetació (ha) i densitat de carboni (t C/ha).

El càlcul de les diferents superfícies s'ha realitzat a partir de les següents bases de referències disponibles:

- Mapa digital dels hàbitats d'Andorra 1/25000. Centre Biodiversitat. Institut d'Estudis Andorrans (2003).

- Mapa digital forestal del Principal d'Andorra 1/5000. (2002)

Amb l'objectiu de disposar dels hàbitats reals d'Andorra s'ha procedit a una fusió del mapa forestal i del mapa d'hàbitats. Aquesta fusió ens ha permès comprovar els diferents hàbitats i les diferències existents entre els dos mapes.

L'anàlisi ha estat dificultós per l'aparició d'algunes diferències inesperades entre les dues bases. Per les dates i les bases de referències emprades per la realització, les diferències entre els dos mapes haurien de ser mínimes degut a un problema d'escala (mapa forestal, escala: 1/5000 i mapa d'hàbitats, escala: 1/25 000). El cas però, és que en alguns polígons, la informació de l'hàbitat és totalment diferent en comparació al mapa forestal. Degut a aquest problema s'ha escollit com a base principal de treball el mapa forestal per la millor escala de treball (1:5000) i perquè en termes de superfície en la vegetació forestal en un any els canvis són mínims (pels hàbitats de bosc).

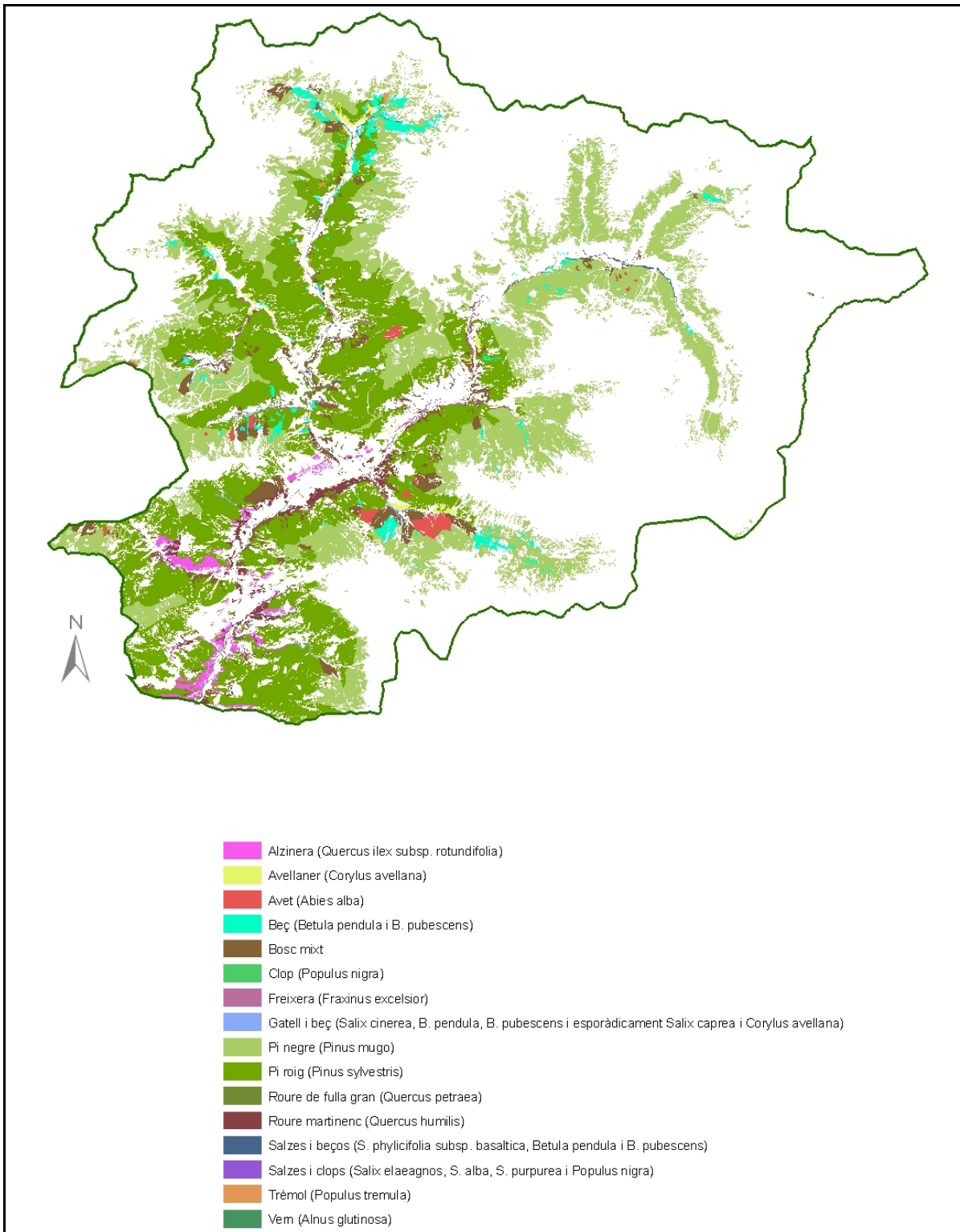
Pels hàbitats de matollars i prats, hem fet servir el mapa d'hàbitats que conté i reflexa millor aquestes informacions. Els hàbitats considerats dins de les categories de matolls i prats són els següents :

- Matollars: Abarsetars o neretars, Argelaguers, Balegars, Boixedes i bardisses, Ginebredes montanes, Landes i matollars baixos de l'alta muntanya.
- Pastures: Congesteres, Herbassars higròfils, Herbassars ruderals de l'alta muntanya, Molleres o potamolls, Pastures de gesp (*Festuca eskia*), Pastures de l'alta muntanya, amb *Festuca airoides*, *F. yvesii* o *Carex curvula*, acidòfiles, Pastures de l'alta muntanya, calcícoles, Pastures de pèl caní, Pastures de sudorn (*Festuca paniculata* s.l.), Pastures montanes acidòfiles, Pastures montanes calcícoles, Prats de dall.

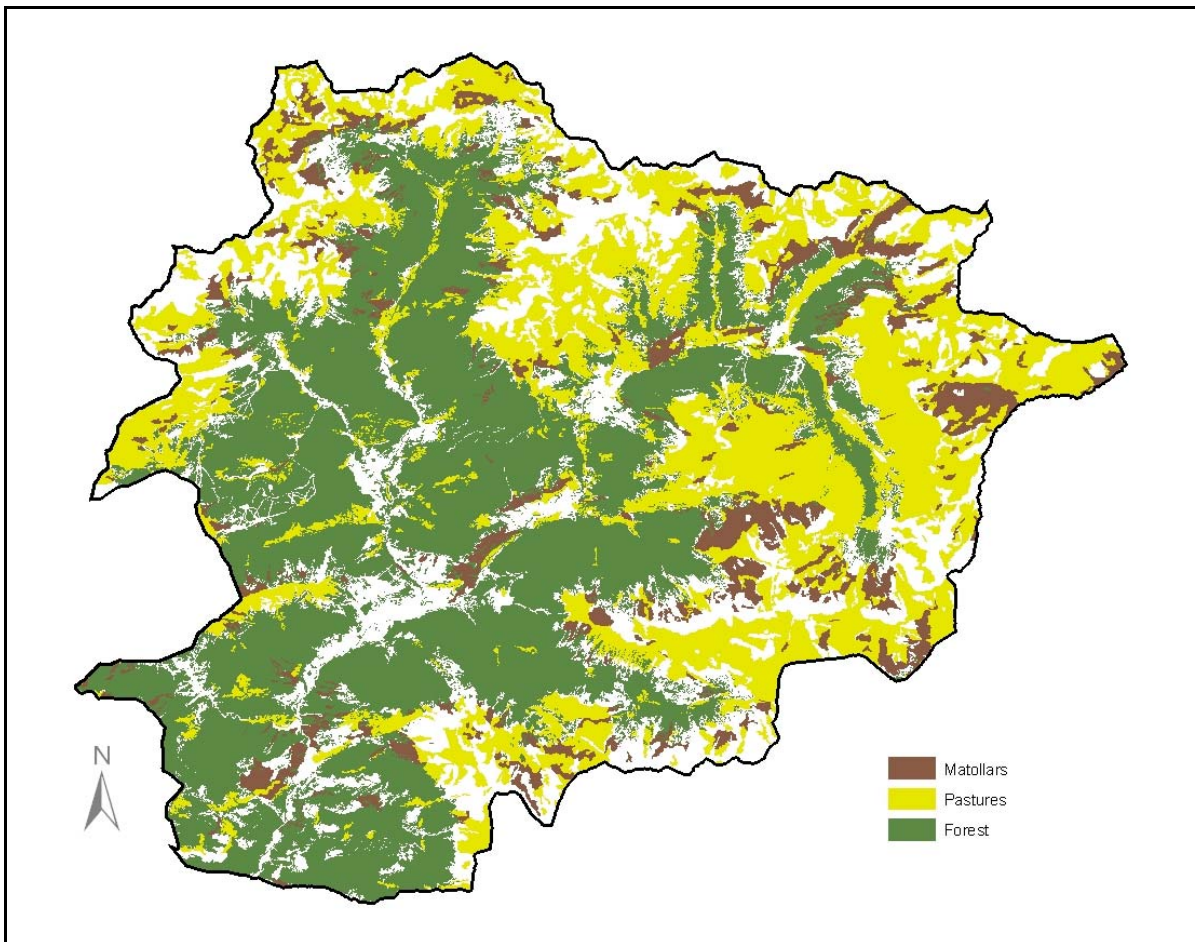
Taula 5: Hàbitats d'Andorra identificats

HÀBITATS	SUPERFICIE (HA)
Alzinera (<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>rotundifolia</i>)	306,499
Avellaner (<i>Corylus avellana</i>)	115,123
Avet (<i>Abies alba</i>)	167,529
Beç (<i>Betula pendula</i> i <i>B. pubescens</i>)	437,628
Bosc mixt	1010,897
Clop (<i>Populus nigra</i>)	0,772
Freixera (<i>Fraxinus excelsior</i>)	100,045
Gatell i beç (<i>Salix cinerea</i> , <i>B. pendula</i> , <i>B. pubescens</i> i esporàdicament <i>Salix caprea</i> i <i>Corylus avellana</i>)	49,354
Pi negre (<i>Pinus mugo</i>)	7611,168
Pi roig (<i>Pinus sylvestris</i>)	7675,367
Roure de fulla gran (<i>Quercus petraea</i>)	60,932
Roure martinenc (<i>Quercus humilis</i>)	251,116
Salzes i beços (<i>S. phylicifolia</i> subsp. <i>basaltica</i> , <i>Betula pendula</i> i <i>B. pubescens</i>)	33,996
Salzes i clops (<i>Salix elaeagnos</i> , <i>S. alba</i> , <i>S. purpurea</i> i <i>Populus nigra</i>)	15,419
Trèmol (<i>Populus tremula</i>)	38,015
Vern (<i>Alnus glutinosa</i>)	23,107
Matollars	3640,17
Prats	13420,07

MAPA FORESTAL D'ANDORRA (2002)



MAPA D'HÀBITATS (BOSCOS, MATOLLARS I PRATS)

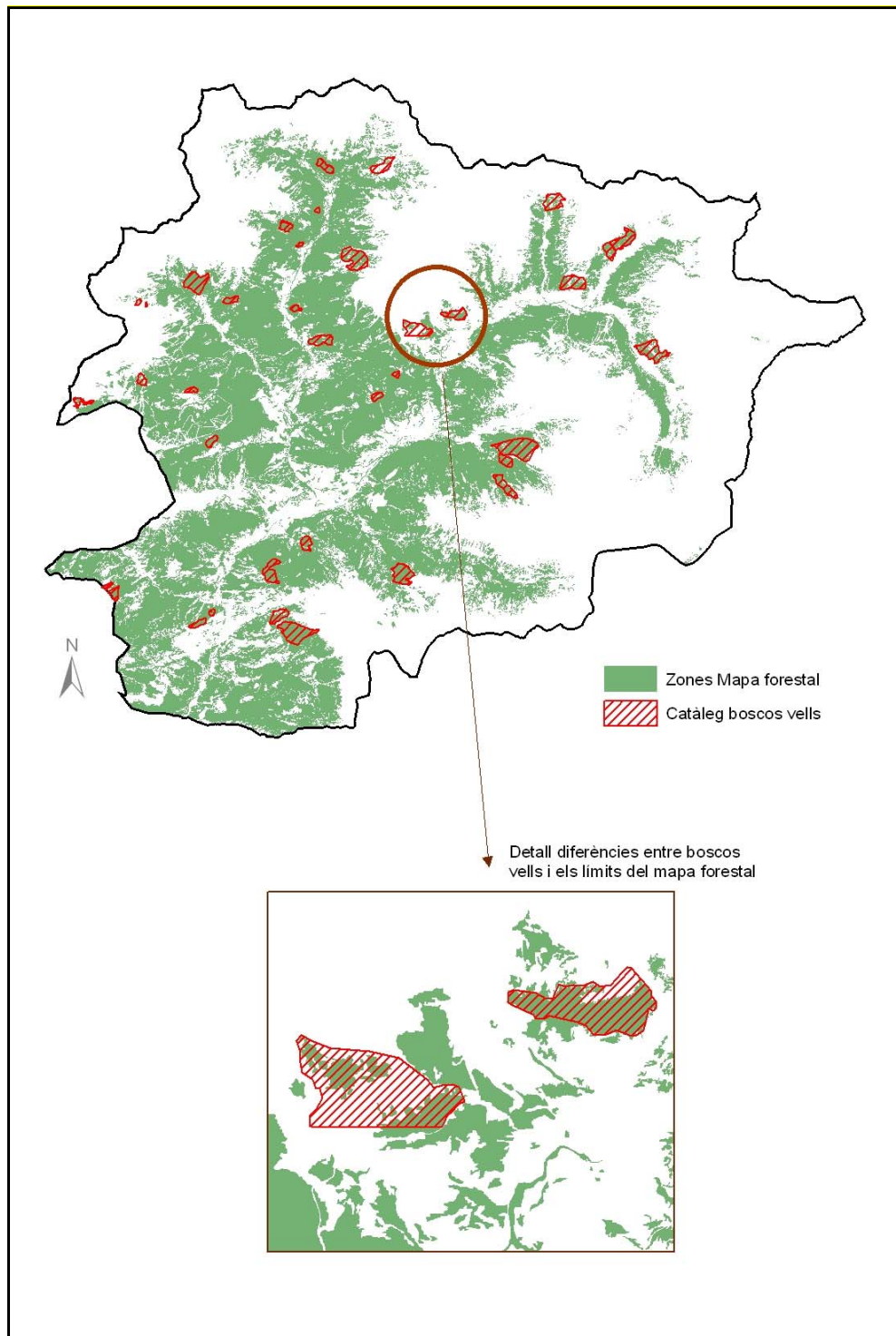


- Catàleg dels Boscos Vells del Principat d'Andorra. Estudi encarregat pel Departament de Patrimoni Natural. Govern d'Andorra 2007.

En el cas del Catàleg dels Boscos Vells del Principat d'Andorra, la idea principal era de fer servir el contingut d'aquests inventaris per obtenir l'estimació de CO₂ fixat per aquests boscos. Els mapes digitals del catàleg de boscos vells han estat tractats i analitzats per recuperar les informacions en formats word i extreure els límits digitals dels boscos vells. Per altra banda, les classes diamètriques d'aquesta base de dades tenen diferències notables amb els rangs de classes diamètriques considerades a Catalunya, i en conseqüència, no s'han pogut fer servir aquests valors. Per exemple, la classe diamètrica de 10<dbh<30 a la base de dades dels boscos vells correspon a 5 classes diamètriques diferents als inventaris de Catalunya. Per aquesta raó únicament hem fet servir del Catàleg per la estimació de carboni, les superfícies i les espècies. És a dir, que el càlcul dels

boscoss vells s'ha fet amb els mateixos criteris que el mapa forestal. És important notar també que alguns límits dels boscoss vells no coincideixen amb el mapa forestal, estan fora del mapa forestal. Per evitar un solapament entre les superfícies, s'ha fet la diferència de límits existents entre els dos per no repetir els valors de CO₂ calculats amb els dos casos.

Veure imatge a continuació.



Taula 6: Espècies principals dels boscos vells:

NOM BOSCOS VELLS	ESPÈCIES PRINCIPALS	SUPERFÍCIES (HA)
Assalador_mereig	Pinus uncinata	45,0
Bony de les Neres	Pinus uncinata	9,3
Borda de Sorteny	Pinus uncinata	24,9
Bosc Llorts*		2,9
Bosc Solanet	Pinus sylvestris	6,8
Campea	Pinus uncinata	89,3
Canya	Pinus uncinata	25,0
Coll d'Ordino	Pinus uncinata	4,6
Coll de Vista	Pinus uncinata	13,8
Coma dels llops	Pinus uncinata	28,0
Comaubosa*		10,8
Comellassos	Pinus uncinata	19,1
Ensegur	Pinus uncinata	59,1
Entor	Pinus uncinata	42,8
Fenemores	Pinus sylvestris	10,3
Hostal del Poll	Pinus uncinata	35,7
Llacs	Pinus uncinata	10,3
Matet	Pinus sylvestris	16,1
Mollera	Pinus sylvestris	13,4
Obaga de Comapedrosa	Pinus uncinata	3,9
Obaga dels Llaurers	Pinus uncinata	5,1
Palomera	Pinus sylvestris	31,6
Pas de la Clau	Pinus uncinata	18,3
Pinosa	Pinus uncinata	36,4
Pinosa de Llumeneres	Pinus sylvestris	22,4
Rèbols	Pinus sylvestris	67,3

Ròdol	Pinus uncinata	44,6
Salines	Pinus sylvestris	2,6
Solà de Riambert	Pinus sylvestris	6,5
Soladentalira_planavilla	Pinus uncinata	51,8
Sorobilles	Pinus sylvestris	26,0
Tallada nova	Pinus uncinata	47,6
Terragalls	Pinus sylvestris	16,7
Vaquerissa	Pinus uncinata	11,1
Vedat	Pinus sylvestris	15,5

- El mapa d'altimetria d'Andorra 1/100.000

La selecció de les zones de Catalunya aptes per a l'obtenció de les bases de dades per a l'extrapolació de les dades de carboni, de CO₂ o de biomassa, s'ha realitzat a partir d'un anàlisi d'aquestes zones en comparació amb les d'Andorra, tenint en compte la vegetació i orientacions. Principalment s'ha fet servir el mapa d'altimetria per obtenir la mitjana de les altures a Andorra (mitjana de 800m a 2900m). S'han seleccionat les comarques de Catalunya que fan frontera amb Andorra que tenen les altures pròximes a Andorra com: La Cerdanya (altura mitjana de 900m a 2900m), el Pallars Sobirà (altura mitjana de 540m a 3140m) i l'Alt Urgell (altura mitjana de 430m a 2770m).

Les densitats de carboni (t C/ ha) són específiques per als diferents dipòsits i s'ha calculat com s'indica a continuació.



5.2.1. Biomassa aèria i radical

A partir de la identificació dels hàbitats, s'ha escollit dins de la base de dades de l'inventari forestal, la informació adient per l'anàlisi de la vegetació **arbòria** (veure taula a continuació).

Taula 7: Contingut de biomassa a la part aèria (t/ha): dades a partir de les espècies de Catalunya. Inventari, CREAM (1997-2009).

Espècie	Fusta	Escorça	Branquillons	Fulles	Biomassa aèria (t /ha)
<i>Abies alba</i>	140,86	22,51	26,53	8,29	198,20
<i>Alnus glutinosa</i>	37,81	8,59	14,10	1,34	61,84
<i>Betula pendula</i>	47,99	10,40	13,42	2,6	53,678
<i>Betula pubescens</i>	30,58	7,08	10,79	1,57	47,30
<i>Corylus avellana</i>	34,51	8,21	19,69	2,11	64,52
<i>Fraxinus excelsior</i>	29,13	6,38	11,83	1,10	48,43
<i>Pinus uncinata</i> (<i>Pinus mugo</i>)	62,72	9,56	20,69	7,06	100,03
<i>Pinus sylvestris</i>	56,87	7,97	19,53	3,54	87,92
<i>Populus tremula</i>	52,22	12,76	17,54	2,26	84,78
<i>Populus nigra</i>	19,47	4,23	8,22	0,65	32,57
<i>Quercus humilis</i>	36,25	13,90	18,58	3,26	71,98
<i>Quercus petraea</i>	32,40	10,76	17,77	2,90	63,82
<i>Quercus ilex</i>	26,48	7,10	19,11	3,02	55,71
<i>Salix spp.</i>	47,38	13,52	11,91	1,91	74,73
Bosques Mixtos*	-	-	-	-	76

* Pels boscos mixtes, s'ha fet servir una mitjana de les espècies per a l'estimació dels valors.

Taula 8: Contingut de carboni a la biomassa en la part aèria i CO₂ fixat corresponent: dades a partir de les espècies de Catalunya. Inventari, CREAM (1997-2009).

Espècie	Fusta	Escorça	Branquillons	Fulles	Carboni aèri (t /ha)	CO ₂ (t/ha)
<i>Abies alba</i>	69,59	10,93	13,27	4,12	97,91	359
<i>Alnus glutinosa</i>	18,44	4,38	6,68	0,65	30,16	110,57
<i>Betula pendula</i>	24,05	5,22	8,83	1,31	39,41	144,511
<i>Betula pubescens</i>	15,31	3,53	6,75	1,33	26,93	98,75
<i>Corylus avellana</i>	16,52	3,95	9,42	1,03	30,91	113,35
<i>Fraxinus excelsior</i>	14,00	3,06	5,59	0,51	23,16	84,92
<i>Pinus uncinata</i>	31,89	5,11	10,77	3,67	51,45	165,24
<i>Pinus sylvestris</i>	29,00	4,29	9,96	1,81	45,06	188,63
<i>Populus tremula</i>	25,82	6,60	8,51	1,13	42,06	154,23
<i>Populus nigra</i>	9,46	2,18	3,87	0,32	15,83	38,17
<i>Quercus humilis</i>	17,50	6,75	8,95	1,59	34,79	127,55
<i>Quercus petraea</i>	15,60	5,22	8,54	1,41	30,77	112,80
<i>Quercus ilex</i>	12,74	3,34	9,06	1,52	26,67	97,77
<i>Salix spp.</i>	23,17	6,75	5,84	0,97	36,73	134,67
Bosques Mixtos*	-	-	-	-	37	136

* Pels boscos mixtes, hem fet servir la mitjana dels altres valors.

El carboni contingut en els **matolls** fa referència a la biomassa aèria i radical. Per a l'estudi s'han considerat les dades obtingudes a partir de Montané et al. (2007) que corresponen a una quantitat de **50 -70 t C/ha**.

El carboni contingut en les **pastures** utilitzat per realitzar les estimacions, ha estat extrapolat a partir de les dades de pastures de muntanya obtinguts en el Pirineu català pels experts ecòlegs del CTFC (Teresa Sebastià, Pere Casals, Pere Rovira, Francesc Muntaner). El valor estimat ha estat entre 5 -10 t C/ha per al conjunt de biomassa aèria i

radical. Els valors utilitzats són valors mitjans i tenen un ampli rang en funció principalment de variables topogràfiques.

La quantificació de la **biomassa subterrània de l'estrat arbori** ha estat estimada a partir de la biomassa aèria mitjançant l'aplicació dels coeficients de proporció entre biomassa aèria i radical estimat per Montero et al. (2006). Per a les espècies on no existien coeficients de proporció, se'ls ha assignat el coeficient de l'espècie més propera del mateix gènere.

Taula 9: Contingut de carboni en la biomassa radical per cada unitat de carboni contingut en la biomassa aèria. Disseny propi a partir de Montero et al. (2006).

ESPÈCIES	Biomassa radical
<i>Abies alba</i>	0,19
<i>Pinus sylvestris</i>	0,27
<i>Pinus uncinata</i>	0,33
<i>Pinus nigra</i>	0,24
<i>Quercus Ilex</i>	0,53
<i>Quercus humilis</i>	0,32 [*]
<i>Quercus petraea</i>	0,28
<i>Fraxinus spp</i>	0,73
<i>Corylus avellana</i>	0,32 [*]
<i>Populus nigra</i>	0,32 [*]
<i>Populus tremula</i>	0,32 [*]
<i>Betula pendula/Betula pubescensis</i>	0,20
<i>Alnus glutinosa</i>	0,70
<i>Salix sp</i>	0,32 [*]
<i>Juniperus communis</i>	3,59
<i>Juniperus phoenicia</i>	0,55
Boscós mistos ^{**}	

* Espècies de les quals no es disposa d'estimacions de biomassa radicular, s'ha utilitzat l'estimació conservadora corresponent a un percentatge mínim de 15% de biomassa (MacDicken, 1997).

** Pels valors dels boscos mixtes, hem fet la mitjana del valors de les altres espècies.

5.2.2. Fullaraca i matèria orgànica morta

Per al càlcul del contingut de carboni contingut en la fullaraca s'ha calculat a partir dels valors genèrics del Nivell 1 oferts per l'IPCC (2006). Els valors han estat determinats a partir de la classificació del clima realitzada per l'IPCC (2006) i segons el tipus de bosc. El factor de conversió utilitzat per convertir biomassa a carboni ha estat 0,37 (37 g de C / 100 g de biomassa) (Smith i Heath, 2001). Així mateix s'ha pres el valor del carboni en la fullaraca de boscos madurs. Les quantitats de carboni que han estat aplicades han estat 13 t C/ha per boscos latifòlia decidues i de 22 t C/ha per boscos de coníferes de fulla perenne.

Taula 10: Contingut de carboni corresponent a la fullaraca. IPCC (2006).

TIPUS DE VEGETACIÓ	CONTINGUT DE CARBONI A LA FULLARACA (tn C/ha)
<i>Boscos latifòlia decidues</i>	13
<i>Boscos de coníferes perenne</i>	22

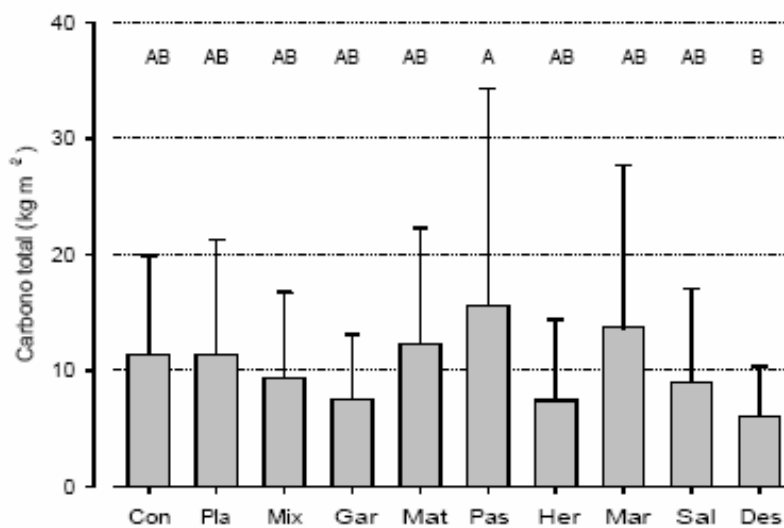
El càlcul del contingut de carboni present en la matèria orgànica morta no s'ha realitzat per falta de dades.

5.2.3. Sòls

Els valors utilitzats per estimar la quantitat de carboni contingut en el sòl de l'**estrat arbori** han estat obtinguts a partir de les dades de Rovira et al. (2007), representats en la figura següent. Aquestes dades han estat calculades tenint en compte el tipus de vegetació per a tot Espanya. No s'ha tingut en compte les diferències climàtiques ni edàfiques.



Figura 4: Carboni orgànic total en els diferents tipus de vegetació d'Espanya (kg/m²). (Amb: Bosc de coníferes, Pla: Bosc de planifolis, Mix: Bosc Mixt, Gar: Garrigues, Mat: Matolls, Pas: Prats, Her: Herbassars, Mar: Aiguamolls i similars, Sal: Saladars, Des: Sòl nu. Els valors amb la mateixa lletra sobre no són significativament diferents per a una significació de $P < 0.05$).



Per boscos de coníferes i boscos mixtos, s'han utilitzat els valors mitjans oferts per Rovira et al. (2007) corresponent a la classificació de clima montà. Els valors utilitzats han estat de 163,4 tn C/ha per als boscos de coníferes i 124,8 tn C/ha per als boscos mixtos.

El valor utilitzat per calcular el carboni acumulat en els sòls dels **matolls** d'Andorra ha estat estimat a partir de Montané et al. (2006) sent el rang de magnitud entre 45-321 t C/ha. S'ha utilitzat el valor mitjà de 183 tn C/ha. S'ha preferit utilitzar-ho davant de l'ofert per Rovira et al. (2007) per ser dades preses als Pirineus i al Sistema Central.

Així mateix, el valor utilitzat per calcular el carboni acumulat en els sòls de les **pastures** de muntanya ha estat obtingut a partir de Garcia-Pausas et al. (2007) enfront del valor donat per Rovira et al. (2007) per fer referència a les pastures pirinenques. El valor mitjà utilitzat ha estat 153 tn de C/ha.

Taula 10: Contingut de carboni en el sòl (tn de C/ha) per tipus de vegetació.

TIPUS DE VEGETACIÓ	CONTINGUT DE CARBONI EN SÒL (tn C/ha)
<i>Bosc de coníferes</i>	163,4
<i>Bosc de planifolis</i>	115,0
<i>Bosc mixt</i>	124,8
<i>Matolls</i>	183,0
<i>Pastures</i>	153,0
<i>Herbassars</i>	80
<i>Altres (sòl nu)</i>	50

5.3. Resultats

5.3.1. Estimacions de les reserves totals de carboni en termes de CO₂ fixat a Andorra pels terrenys forestals

Les reserves de carboni en total fan referència a biomassa viva (aèria i subterrània), sòl, fullaraca. Com s'ha citat prèviament, el CO₂ fixat en aquesta biomassa s'ha obtingut a partir del càlcul del IPCC (2006) segons el qual 1 t C = 3,66 t CO₂.



Taula 11: Estimació del CO₂ fixat (t) als Boscos vells

NOM BOSCOS VELLS	ESPÈCIES PRINCIPALS	SUPERFÍCIES (HA)	CO ₂ AERI	CO ₂ RADICAL	CO ₂ FULLARACA	CO ₂ SOL	CO ₂ TOTAL BOSC
Assalador_mereig	Pinus uncinata	45,0	8487,6	2860,9	3623,1	26909,6	41881,2
Bony de les Neres	Pinus uncinata	9,3	1751,8	590,5	747,8	5554,0	8644,0
Borda de Sorteny	Pinus uncinata	24,9	4703,6	1585,4	2007,8	14912,6	23209,4
Bosc Llorts		2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bosc Solanet	Pinus sylvestris	6,8	1117,5	296,9	544,6	4044,6	6003,5
Campea	Pinus uncinata	89,3	16843,9	5677,5	7190,1	53403,0	83114,5
Canya	Pinus uncinata	25,0	4711,3	1588,0	2011,1	14937,1	23247,5
Coll d'Ordino	Pinus uncinata	4,6	874,5	294,8	373,3	2772,6	4315,1
Coll de Vista	Pinus uncinata	13,8	2600,3	876,5	1110,0	8244,3	12831,1
Coma dels llops	Pinus uncinata	28,0	5286,7	1782,0	2256,7	16761,3	26086,8
Comaubosa		10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Comellassos	Pinus uncinata	19,1	3603,1	1214,5	1538,0	11423,4	17779,1
Ensegur	Pinus uncinata	59,1	11150,1	3758,3	4759,6	35351,0	55019,1
Entor	Pinus uncinata	42,8	8079,5	2723,3	3448,9	25615,8	39867,6
Fenemores	Pinus sylvestris	10,3	1702,6	452,3	829,7	6162,2	9146,8
Hostal del Poll	Pinus uncinata	35,7	6741,7	2272,4	2877,8	21374,4	33266,4
Llacs	Pinus uncinata	10,3	1935,7	652,5	826,3	6136,9	9551,3
Matet	Pinus sylvestris	16,1	2660,7	706,8	1296,5	9629,8	14293,9
Mollera	Pinus sylvestris	13,4	2211,3	587,4	1077,5	8003,2	11879,4
Obaga de Comapedrosa	Pinus uncinata	3,9	731,0	246,4	312,0	2317,5	3606,8
Obaga dels Llaurers	Pinus uncinata	5,1	970,8	327,2	414,4	3077,9	4790,3
Palomera	Pinus sylvestris	31,6	5219,1	1386,5	2543,2	18889,2	28038,0
Pas de la Clau	Pinus uncinata	18,3	3447,9	1162,2	1471,8	10931,4	17013,3
Pinosa	Pinus uncinata	36,4	6865,1	2314,0	2930,5	21765,7	33875,3
Pinosa de Llumeneres	Pinus sylvestris	22,4	3699,1	982,7	1802,5	13387,9	19872,2
Rèbols	Pinus sylvestris	67,3	11120,6	2954,2	5419,0	40248,3	59742,2
Ròdol	Pinus uncinata	44,6	8419,0	2837,8	3593,8	26692,3	41542,9
Salines	Pinus sylvestris	2,6	433,3	115,1	211,1	1568,1	2327,6
Solà de Riambert	Pinus sylvestris	6,5	1081,7	287,4	527,1	3915,1	5811,3
Soladenvallira_planavilla	Pinus uncinata	51,8	9765,7	3291,7	4168,6	30961,7	48187,7
Sorobilles	Pinus sylvestris	26,0	4300,4	1142,4	2095,6	15564,4	23102,8
Tallada nova	Pinus uncinata	47,6	8979,9	3026,8	3833,2	28470,3	44310,1
Terragalls	Pinus sylvestris	16,7	2755,0	731,9	1342,5	9970,8	14800,1
Vaquerissa	Pinus uncinata	11,1	2091,6	705,0	892,8	6631,3	10320,7
Vedat	Pinus sylvestris	15,5	2568,1	682,2	1251,4	9294,7	13796,5
TOTALS		874,7	156910,4	50113,6	69328,6	514922,2	791274,7

Taula 12: Estimació del CO₂ fixat (t) als Boscos vells fora del mapa forestal

NOM BOSCOS VELLS	ESPÈCIES PRINCIPALS	SUPERFÍCIES (HA)	CO₂ TOTAL
Assalador_mereig	Pinus uncinata	29,44	27404,4
Borda de Sorteny	Pinus uncinata	17,18	15994,0
Bosc Solanet	Pinus sylvestris	0,05	41,3
Campea	Pinus uncinata	2,78	2588,4
Canya	Pinus uncinata	5,01	4659,9
Coll d'Ordino	Pinus uncinata	0,46	430,8
Coll de Vista	Pinus uncinata	1,08	1003,1
Coma dels llops	Pinus uncinata	3,67	3414,0
Comellassos	Pinus uncinata	2,12	1969,1
Ensegur	Pinus uncinata	2,08	1931,9
Entor	Pinus uncinata	11,32	10533,8
Hostal del Poll	Pinus uncinata	9,59	8928,5
Llacs	Pinus uncinata	2,06	1921,7
Obaga de Comapedrosa	Pinus uncinata	2,25	2091,0
Palomera	Pinus sylvestris	0,03	23,9
Pinosa	Pinus uncinata	3,21	2983,5
Pinosa de Llumeneres	Pinus sylvestris	3,18	2823,2
Rèbols	Pinus sylvestris	0,04	34,5
Ròdol	Pinus uncinata	0,49	457,5
Soladenvallira_planavilla	Pinus uncinata	4,64	4315,0
Sorobilles	Pinus sylvestris	0,82	730,9
Tallada nova	Pinus uncinata	0,37	342,9
Vaquerissa	Pinus uncinata	3,71	3452,2
Vedat	Pinus sylvestris	0,03	29,5
TOTALS		105,59	98105,1

Taula 13: Estimació del CO₂ fixat (t) a la zona de bosc (mapa forestal)

HABITATS	SUPERFICIE (HA)	CO ₂ AERI	CO ₂ RADICAL	CO ₂ FULLARACA	CO ₂ SOL	CO ₂ TOTAL BOSC
Alzinera (Quercus spp. ...)	306,499	29966,6	13968,3	14583,3	129006,3	187524,5
Avellaner (Corylus avellana)	115,123	13049,5	7050,0	5477,7	48456,5	74033,7
Avet (Abies alba)	167,529	60142,6	4933,9	13489,4	100189,1	178754,9
Beç (Betula spp.)	437,628	53223,8	8723,9	20822,1	184195,9	266965,8
Bosc mixt	1010,897	137482,9	37455,1	64748,4	461748,6	701435,0
Chop (Populus nigra)	0,772	29,4	9,4	36,7	324,5	400,1
Freixera (Fraxinus excelsior)	100,045	8495,7	8886,5	4760,1	42108,5	64250,9
Gatell i beç (Salix spp. . Spp. i C. A.)	49,354	6217,1	732,3	2348,3	20773,1	30070,7
Pi negre (Pinus mugo)	7611,168	1435691,4	483935,5	612849,9	4551803,2	7084279,9
Pi roig (Pinus sylvestris)	7675,367	1268277,2	336930,7	618020,3	4590205,4	6813433,6
Roure de fulla gran (Quercus petraea)	60,932	6873,1	2326,1	2899,1	25646,3	37744,7
Roure martinenc (Quercus humilis)	251,116	32029,7	12044,0	11948,1	105694,3	161716,1
Salzes i beços (S. Spp., Betula spp.)	33,996	4578,1	157,2	1617,5	14308,5	20661,3
Salzes i clops (Salix spp. i Populus spp.)	15,419	2076,6	71,3	733,7	6490,3	9371,9
Trèmol (Populus tremula)	38,015	5862,7	1876,1	1808,7	16000,1	25547,6
Vern (Alnus glutinosa)	23,107	2554,9	1788,4	1099,4	9725,3	15167,9
TOTALS	17896,9	3066551,4	920888,8	1377242,6	10306675,9	15671358,7

Taula 14: Estimació del CO₂ fixat (t) als hàbitats de matolls i prats (mapa hàbitats)

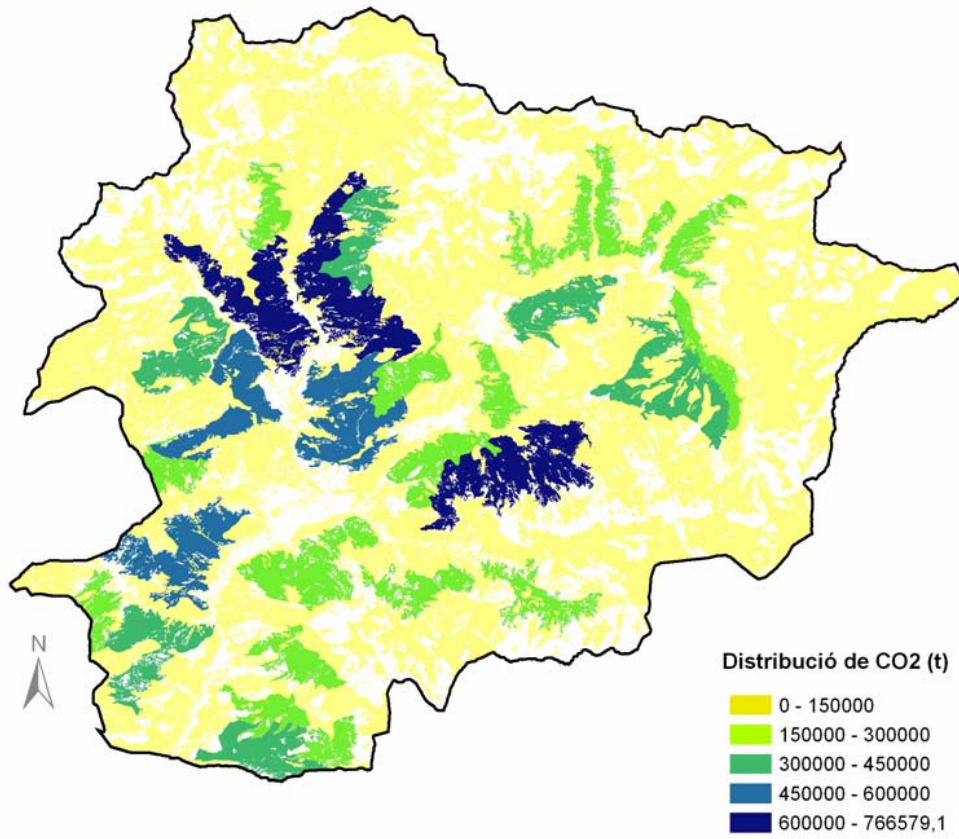
HÀBITATS	SUPERFÍCIE (HA)	CO ₂ AERI I RADICAL	CO ₂ SOL	CO ₂ TOTAL
Matollars	3640,17	799380,93	2438111,73	3237492,64
Prats	13420,07	368381,25	7514972,19	7883353,50
TOTALS	17060,24	1 167 762,18	9 953 083,92	11 120 846,14

Taula 15: Estimació total del CO₂ fixat (t) a Andorra

	SUPERFÍCIE (HA)	CO ₂ TOTAL
Del mapa Forestal	17896,9	15 671 358,7
Del Boscos Vells fora del mapa forestal	105,59	98 105,1
De Matollars i Prats	17060,24	11 120 846,14
TOTALS	35062,73	26 890 309,9



Distribució del CO₂ fixat (t) en funció de la biomassa dels diferents hàbitats



5.3.2. Estimacions del carboni acumulat anualment

A més del carboni contingut en els reservoris dels sistemes forestals, els boscos en creixement incrementen els reservoris anualment. El càlcul del carboni que és incorporat anualment a través de la superfície forestal d'Andorra s'ha realitzat a partir de l'augment de la biomassa aèria anual de les masses arbòries (calculat com a producció neta sense considerar la respiració heterotròfica). Així mateix, tampoc no s'ha comptabilitzat la disminució de les existències de carboni degudes a la pèrdua de biomassa motivada entre altres per incendis forestals, aprofitaments, canvis d'ús de la terra. L'augment anual del carboni acumulat per als matollars, pastures i sòl no ha estat considerat en l'estudi per falta de dades. Tampoc s'ha considerat l'increment de carboni degut al creixement dels boscos catalogats com *Boscos Vells* per considerar-se que són boscos madurs a on el creixement anual no és significatiu.

Taula 16: Valors d'increment de carboni anual (t/ha/any) per espècie segons l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya, IEFC

HABITATS	Mitja C inc fusta (t/ha/any)	Mitja C inc escorça (t/ha/any)	Mitja C inc branq (t/ha/any)	Mitja C inc total (t/ha/any)
Abies alba	0,62	0,09	0,07	0,81
Alnus glutinosa	0,75	0,13	0,18	1,04
Betula pendula	0,11	0,02	0,02	0,14
Betula pubescens	0	0	0	0
Corylus avellana	0,02	0,00	0,00	0,00
Fraxinus excelsior	0,19	0,02	0,03	0,25
Pinus uncinata	0,53	0,08	0,07	0,70
Pinus sylvestris	0,58	0,12	0,19	0,92
Populus nigra	0,23	0,04	0,59	0,31
Populus tremula	0,52	0,08	0,10	0,70
Quercus humilis	0,12	0,03	0,03	0,19
Quercus ilex	0,04	0,01	0,31	0,07
Quercus petraea	0,20	0,03	0,05	0,29
Salix spp.	0	0	0	0

Taula 17: Estimació de l'increment anual de carboni i estimació del CO₂ fixat corresponent a aquest increment en els boscos d'Andorra. (t /any)

HABITATS	SUPERFICIE (HA)	INCREMENT CARBONI ANUAL	INCREMENT ANUAL CO ₂ FIXAT
Alzinera (Quercus spp. ..)	306,499	85,82	314,11
Avellaner (Corylus avellana)	115,123	0,00	0,00
Avet (Abies alba)	167,529	135,70	496,65
Beç (Betula spp.)	437,628	61,26	224,22
Bosc mixt	1010,897	404,36	1479,97
Clop (Populus nigra)	0,772	0,24	0,88
Freixera (Fraxinus excelsior)	100,045	25,02	91,56
Gatell i beç (Salix spp. . Spp. i C. A.)	49,354	1,48	5,41
Pi negre (Pinus mugo)	7611,168	5327,73	19499,47
Pi roig (Pinus sylvestris)	7675,367	7061,32	25844,43
Roure de fulla gran (Quercus petraea)	60,932	17,67	64,68
Roure martinenc (Quercus humilis)	251,116	47,71	174,63
Salzes i beços (S. Spp., Betula spp.)	33,996	0,00	0,00
Salzes i clops (Salix spp. i Populus spp.)	15,419	0,00	0,00
Trèmol (Populus tremula)	38,015	36,87	134,95
Vern (Alnus glutinosa)	23,107	24,03	87,95
TOTALS	17896,9	13 229,21	48 418,91

5.3.3. Estimacions del carboni acumulat pel període de compromís

S'ha realitzat una estimació del contingut de carboni que seria comptabilitzable en el marc d'un suposat període de compromís de 4 anys del Protocol de Kyoto. Per això s'ha calculat el contingut de carboni incorporat anualment de la manera especificada en l'apartat anterior.

No obstant això cal tenir en compte que, segons les normes de comptabilització del Protocol de Kyoto, caldria demostrar que aquestes absorpcions són produïdes per activitats (forestació, reforestació, gestió forestal, gestió de terres agrícoles, gestió de pastures i revegetació) realitzades a partir de 1990, directament induïdes per l'home i, sobretot, verificables.



Taula 18: Estimació de l'increment del carboni i estimació del CO₂ fixat corresponent a aquest increment durant el període de compromís (durant 4 anys) als boscos d'Andorra. (t/període)

HABITATS	SUPERFICIE (HA)	INCREMENT CARBONI ANUAL	INCREMENT ANUAL CO ₂
Alzinera (Quercus spp. ...)	306,499	343,292	1256,456
Avellaner (Corylus avellana)	115,123	0	0
Avet (Abies alba)	167,529	542,784	1986,588
Beç (Betula spp.)	437,628	245,048	896,88
Bosc mixt	1010,897	1617,44	5919,868
Clop (Populus nigra)	0,772	0,96	3,516
Freixera (Fraxinus excelsior)	100,045	100,072	366,256
Gatell i beç (Salix spp. . Spp. i C. A.)	49,354	5,912	21,652
Pi negre (Pinus mugo)	7611,168	21310,908	77997,872
Pi roig (Pinus sylvestris)	7675,367	28245,268	103377,716
Roure de fulla gran (Quercus petraea)	60,932	70,684	258,7
Roure martinenc (Quercus humilis)	251,116	190,852	698,524
Salzes i beços (S. Spp., Betula spp.)	33,996	0	0
Salzes i clops (Salix spp. i Populus spp.)	15,419	0	0
Trèmol (Populus tremula)	38,015	147,492	539,812
Vern (Alnus glutinosa)	23,107	96,116	351,788
TOTALS	17896,9	52 916,828	193 675,628

5.4. Limitacions de l'estudi

Les dades que han estat utilitzades per l'estudi són dades aproximades obtingudes a partir d'espècies i zones amb característiques el més semblants possibles. No obstant això seria convenient la realització d'un estudi posterior amb dades específiques per a la superfície forestals d'Andorra per poder obtenir valors més precisos i coherents amb la zona de l'estudi.

6 PROPOSTA AMPLIADA

En aquest apartat es realitzen dues propostes genèriques per a estimar les capacitats de mitigació del Canvi Climàtic a través del sector forestal.

D'una banda es proposa el realitzar un inventari forestal modern incloent la biomassa a escala nacional a Andorra a partir del qual obtenir el contingut de carboni dels boscos d'Andorra. Les característiques de l'inventari seran definides en funció del rang del pressupost. Així mateix, en l'actualitat, el CTFC disposa de dades sobre pastures d'alta muntanya que podrien ser completades amb un dispositiu de recerca permanent sobre el comportament d'aquestes formacions vegetals orientat al estudi de la biodiversitat i el carboni, i la seva evolució en el marc del canvi global.

Així mateix es proposa realitzar un pla de mitigació de Canvi Climàtic per Andorra a través d'activitats del sector forestal. Per això, a partir dels valors del balanç global d'emissions de carboni d'Andorra, es proposaria un pla de mitigació ja sigui a través de gestió forestal encaminada a incrementar les capacitats de mitigació dels boscos i la indústria forestal a Andorra així com a través d'activitats o projectes de mitigació en el marc del mercat de carboni voluntari i la cooperació internacional.



7 REFERÈNCIES

Bravo. F., Bravo-Oviedo. A. i Diaz-Balteiro. L. (2008). *Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forest under two management alternatives: a modelling approach*. European Journal of Forest Research. 127 (3) 225-234.

Bravo. F., del Peso. C., Bravo-Oviedo. A., Osorio. L. F., Gallardo. L. F., Merino. A., Montero. G. (2007). *Capítulo 4: Impacto de la gestión forestal sobre el efecto sumidero de los sistemas forestales en El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Bravo F. (ed). Fundación Gas Natural.

Bryan.E., Akpalu.W., Yesuf.M., Ringler.C. (2008). *Global Carbon Markets. Are there opportunities for Sub-Saharan Africa?*. IFPRI Discussion paper 00832.

Neeff. T., Henders. S. (2007). *Guía sobre los mercados y la comercialización de proyectos MDL forestales*. CATIE.

Neeff. T., Eichler. L., Deecke. I., Fehse. J. (2007). *Actualización sobre los mercados para compensaciones forestales para la mitigación del cambio climático*. CATIE.

Eliasch. J. (2008). *Climate Change: Global Finance and Forests. The Eliasch Review*. Office of Climate Change, London

FAO (2006). <http://www.fao.org/forestry/foris/pdf/infonotes/infofaospanish-losbosquesyelcambioclimatico.pdf>

Gallardo. J. F. i Merino. A. (2007). *Capítulo 2: El ciclo de carbono y la dinámica de los sistemas forestales en El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Bravo F. (ed). Fundació Gas Natural.

Garcia-Pausas. J, Casals. P, Camarero. LI, Huguet. C, Sebastià. M. T. , Thomson. R, Romanya. J. (2007) . *Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: Effects of climate and topography*. Biogeochemistry, 82: 279-289

Hamilton. K., Sjardin. M., Marcello. T., Xu. G.. (2008). *Forging a Frontier: State of the Voluntary Carbon Markets 2008*. A report by Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance.

IPCC (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Houghton. J. T., Meira Filho. L. G., Lim. B., Tréanton. K., Mamaty. I., Bonduki. Y., Griggs. D. J. Callander. B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, París, França.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, i C.A. Johnson (eds.). Cambridge University Press.

IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Preparat per la National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. i Tanabe K. (eds). Publicat: IGES, Japó.

IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equip de redacció principal: Pachauri. R. K. i Reisinger. A. (directors de la publicació)]. IPCC, Ginebra, Suïza, pp.104.

Lal. R. (1997). *Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment*. Soil and Tillage Research. 43, 81-107.

Liski. J., Perruchoud. D., Karjalainen.T. (2002). *Increasing carbon stocks in forest soil of western Europe*. Forest Ecology and Management. 169, 159-175.

Macdicken, K. 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development.

Montané F, Rovira P, Casals P. 2007. *Shrub encroachment into mesic mountain grasslands in the Iberian peninsula: Effects of plant quality and temperature on soil C and N stocks*. Global Biogeochemical Cycles. 21, doi:10.1029/2006GB002853.

Montero. G. , Ruiz-Peinado. R. i Muñoz. M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Monografies INIA: Serie forestal nº 13. Institut Nacional d'Investigació i Tecnologia Agrària i Alimentària. Ministeri d'Educació i Ciència.

Narayan. C., Fernández. P. M., Brusselen. J. V. i Schuck. A. (2007). *Potencial for CO₂ emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol*. Forest Management and Ecology. 251: 164-173.

Ordóñez i Masera (2001). *Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en nuevo San Juan, Michoacán*. Madera y Bosque 7(2), 27-49.

Rovira. P. , Romanyà. J., Rubio. A., Roca. N., Alloza. J. A. i Vallejo. R. (2007). *Capítulo 6: Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles*. en *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Bravo F. (ed). Fundació Gas Natural.

Smith, J. E. i Heath, L.S. (2001). *Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model*. Environmental Management 27:253-267.

Stern, N., Peters. S., Bakhshi. V., Bowen. A, Cameron. C., Catovsky. S., Crane. D., Cruickshank. S., Dietz. S., Edmonson. N., Garbett. S. L., Hamid. L., Hoffman. G., Ingram. D., Jones. B., Patmore. N., Radcliffe. H., Sathiyarajah. R., Stock. M., Taylor. C., Vernon, T. Wanjie, H. Zenghelis. D. (2006). *Stern Review: The Economics of Climate Change*. HM Treasury, Londres.

Turner. J. i Lambert. M. (2000). *Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia*. Forest Ecology and Management, 133:231-247.



8 ANNEXES

ANNEX 1: Decisió 16/CMP.1: *Land Use, land-use change and forestry*

ANNEX 2: Decisió 19/CP.9: Modalitats i procediments per a activitats de projectes de forestació i reforestació sota els MDN en el primer període de compromís del Protocol de Kyoto

ANNEX 3: Decisió 17/CP.7: Modalitats i procediments d'un mecanisme de desenvolupament net, segons es defineix en l'article 12 del Protocol de Kyoto

ANNEX 1:

Decisió 16/CMP.1: *Land Use, land-use change and forestry*

ANNEX 2:

**Decisió 19/CP.9: Modalitats i
procediments per a activitats de
projectes de forestació i
reforestació sota els MDN en el
primer període de compromís
del Protocol de Kyoto**

ANNEX 3:

**Decisió 17/CP.7: Modalitats i
procediments d'un mecanisme
de desenvolupament net,
segons es defineix en l'article 12
del Protocol de Kyoto**