

**INSTITUCIÓ CATALANA
D'HISTÒRIA NATURAL (2)
CICLES DEL CARBONI AL BOSC:
PENSAMENT GLOBAL,
ACTUACIÓ LOCAL,¹
A CÀRREC DE
RUSSELL MONSON,
DE LA UNIVERSITAT DE COLORADO,
ESTATS UNITS D'AMÈRICA**

1. El text que segueix és una transcripció lliure feta per Josep Enric Llebot a partir de l'enregistrament de la conferència pronunciada pel professor Russell Monson a l'Institut d'Estudis Catalans el dia 6 d'abril de 2005.

En aquest text tractarem del segrest del carboni de l'atmosfera en diversos ecosistemes de la Terra. Abans, però, vull fer esment a la segona part del títol, «Pensament global, actuació local», que és una frase que tenim als Estats Units que va començar a aparèixer als adhesius dels para-xocs dels cotxes fa uns quants anys. El sentit d'aquesta frase és posar en relleu que molts problemes globals amb els quals la humanitat s'enfronta actualment són massa grans perquè una sola persona els pugui solucionar o hi pugui intervenir. Alguns problemes són tan grans que és molt fàcil frustrar-se i pensar que una persona individual no pot influir en la pobresa o en la fam del món i, per tant, es resigni a no fer res. De fet, l'objectiu d'aquesta dita és transmetre que cadascun de nosaltres pot fer alguna cosa pel nostre medi ambient local. Si tothom fes alguna cosa pel medi ambient local i se sumessin aquests esforços, aleshores sí que es produiria un impacte global.

Així doncs, el que vull fer és utilitzar aquest mateix objectiu per tractar un tema científic que està relacionat amb una qüestió d'una gran importància global: l'impacte de les perturbacions recents en el cicle global del carboni i els possibles efectes que tindran en el nostre clima i en la vegetació de tota la Terra. A escala global, és molt complicat comprendre el cicle del carboni; hi ha força gent que estudia aquest tema i obté progressos, però les incerteses encara són enormes si pensem a escala global. I el que s'explica a continuació tracta dels esforços que alguns científics, com jo, estem fent per provar i fer estudis a escala local i adaptar-los a escala global.

L'informe més recent del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, publicat el 2001, destaca els forçaments radiatius que sorgeixen a partir de canvis en la composició atmosfèrica, l'alteració de la reflectància de la superfície per l'aprofitament de la terra i la variació de l'emissió

solar. Aquests forçaments afectaran l'escalfament climàtic de la Terra i plantegen diverses qüestions amb les quals ens enfrontem al planeta Terra en el mil·lenni i la dècada actuals que cal que tinguem en compte. Són efectes que tenen la capacitat d'afectar globalment el clima, i incideixen, per exemple, en els models de migració o en els models sanitaris, i per tant, són temes molt importants. El possible escalfament climàtic s'expressa en unitats de watts/m², i la causa de la qual es té més constància, l'augment dels gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera, és d'uns 2,5 watts/m² sobre tot el globus. Hi ha altres factors possibles que poden influir sobre el clima del globus, com l'ozó estratosfèric o els canvis en els usos del sòl i el seu impacte en la reflectància de la Terra, però el grau de confiança sobre el valor del seu forçament radiatiu és molt baix. Per tant, dels diferents factors que influeixen sobre el clima tenim plena confiança solament en un d'aquests: l'augment de la concentració de CO₂ a l'atmosfera. Diferents països de tot el món han destinat molts diners a la recerca en aquest camp —la Unió Europea inverteix força milions d'euros l'any en aquest tema—, i diversos grups de la Unió participen en alguns d'aquests esforços. En aquest text em vull centrar en el CO₂, i un altre cop, destaco que confiem plenament —almenys així ho considerem— en el nostre grau de comprensió del seu forçament radiatiu. Però quan realment intentem descompondre el forçament en números específics lligats al cicle global del carboni, com veurem tot seguit, les incerteses *augmenten* i el grau de confiança disminueix molt ràpidament.

A la figura 1 podem veure la concentració atmosfèrica de CO₂ durant el darrer mil·lenni. Del 1000 al 2000, molta d'aquesta informació prové dels estudis dels testimonis de gel —en concret, de testimonis molt vells—, on s'analitza el CO₂ que s'hi troba atrapat. Aleshores es pot veure com al segle XIX, quan es va començar a desenvolupar la revolució industrial a Europa, la concentració de CO₂ va començar a augmentar rà-

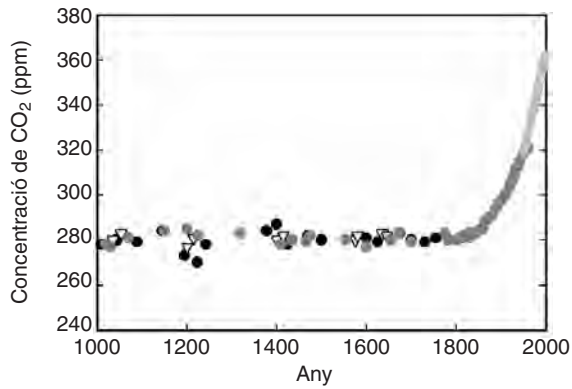


FIGURA 1. Concentració atmosfèrica de CO_2 durant el darrer mil·lenni.

330

pidament a l'atmosfera. Realment, es percep la rapidesa d'aquest augment quan s'observa tot el mil·lenni sencer. Des de l'any 1958 hem mesurat el CO_2 contínuament a l'observatori de Mauna Loa a Hawaii, mesures que Charles Keeling va promoure que es fessin als anys cinquanta. Aquest augment de CO_2 a l'atmosfera és el que ens fa posar en alerta, ja que té relació amb el forçament radiatiu del qual hem parlat en el paràgraf anterior i que pot tenir efectes molt importants en el planeta Terra.

EL CICLE DEL CARBONI

Què entenem per *cicle global del carboni*? El que es veu a la figura 2 és el cicle global del carboni tal com l'enteníem abans que l'acció humana comencés a influir-hi al final del segle XIX. El cicle del carboni de tot el globus abans que els éssers humans comencessin a alterar-lo de manera significa-

tiva estava relativament equilibrat. Els ecosistemes de la Terra alliberen cada any a través de la respiració uns 60 Pg (els fluxos i els embornals de carboni s'expressen en petagramms o 10^{15} grams de carboni per any), que és el que tornen a recuperar amb la fotosíntesi; aleshores la part terrestre del cicle queda més o menys equilibrada, així com la part marina o oceànica del cicle amb els 90 Pg que els oceans emeten i els 90 Pg que absorbeixen. I naturalment, l'atmosfera és una gran reserva de carboni, principalment en CO_2 —no tan gran, és clar, com els oceans, però no obstant això n'és una part significant. Però, excepte els oceans, que tenen capacitats d'emmagatzematge de carboni molt estables, el carboni de l'atmosfera és una mica volàtil, en el sentit que s'intercanvia ràpidament amb els ecosistemes. Al final del segle XIX, vàrem començar a reconèixer que diverses activitats humanes, com ara diferents activitats industrials i d'automoció, pertorben

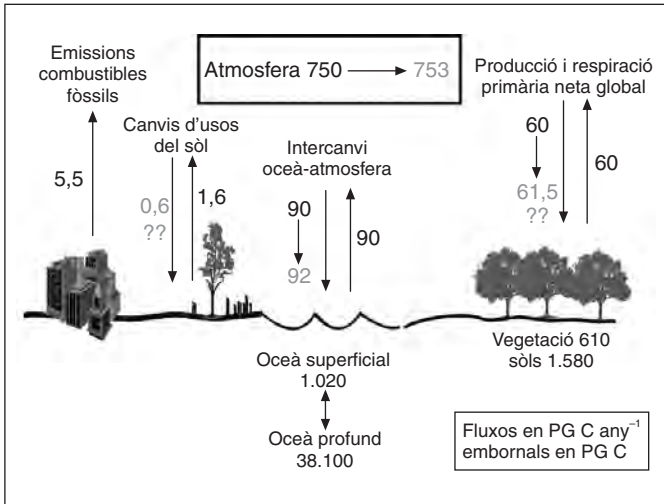


FIGURA 2. *Cicle global del carboni.*

aquest cicle i augmenten el CO_2 a l'atmosfera. Principalment, a causa de les emissions lligades a l'ús de combustibles fòssils, la quantitat de CO_2 a l'atmosfera augmenta anualment 5,5 Pg de carboni. Així s'emeten a l'atmosfera uns 5,5 mil milions de tones de CO_2 per any, a les quals s'han d'afegir les quantitats de CO_2 que s'emeten a l'atmosfera associades als canvis en els usos del sòl, principalment, la desforestació dels tròpics, la tala d'arbres i la crema d'arbres per fer terres de pastura (aquesta crema retorna unes 1,6 Gt de carboni a l'atmosfera). Així, s'emeten aproximadament 7,1 Pg de carboni per any a l'atmosfera. On va a parar aquest carboni? Si emetem 7,1 mil milions de tones de CO_2 a l'atmosfera, aquest ha d'anar a algun lloc, i és important saber-ho si volem entendre les accions que s'indueixen sobre el funcionament radiatiu de la Terra.

Sabem que dels 7,1 Pg que s'emeten únicament uns 3 Pg romanen a l'atmosfera. Això ho sabem gràcies al control portat a terme a llocs com a Mauna Loa a Hawaii i al pol Sud, on hi ha estacions de mesura a llarg termini. Així, els altres 4,1 Pg han de tornar a algun lloc de la biosfera. I aquesta és la gran qüestió que recentment els científics intentem esbrinar. Tenim molt bones mesures de les aigües dels oceans —podem prendre mostres de totes les aigües oceàniques del globus, i sabem que uns 2 Pg addicionals van a parar a l'oceà cada any. Aquest número ha fet variar el balanç a què ens referíem abans, que ha passat de 90 Pg a 92 Pg. Pensem que un 0,6 Pg torna a la Terra, perquè els canvis en l'ús del sòl han disminuït lleugerament des del segle anterior. En el passat va desaparèixer molt sòl forestal, en concret a l'Amèrica del Nord —per exemple, a la zona nord-est d'Amèrica del Nord, que és on es trobaven aquestes àrees, on els boscos es van tallar amb fins agrícoles— i ara s'ha permès que aquests boscos puguin créixer novament. I, per tant, això ha fet que la situació millori.

Finalment, pensem que 1,5 Pg l'any addicionals tornen a ecosistemes terrestres, als diferents boscos de la Terra. En resum, als llocs assenyalats amb interrogants a la figura 2 és on hi ha més incertesa. En canvi, sabem del cert que 2 Pg entren a l'oceà i que 3 Pg romanen a l'atmosfera.

Per tant, a continuació discutirem sobre la incertesa d'aquests 1,5 Pg l'any que tornen als ecosistemes terrestres. Per il·lustrar-la permeteu-me esmentar tres estudis que s'han fet els últims cinc anys. Tots tres van ser publicats a la prestigiosa revista *Science*, i per tant, gaudeixen de força credibilitat, ja que contenen les millors aportacions que els científics podien oferir en el moment de la publicació. En el primer estudi, que es va publicar el 1998, el doctor Fan i els seus col·laboradors van intentar fer un balanç de carboni només per als Estats Units. Van trobar que els Estats Units tots sols absorben 1,7 Pg de carboni l'any. Per tant, aparentment els Estats Units podien fer front tots sols al total de l'absorció de carboni d'1,5 Pg any. Naturalment, aquest fet va alegrar els polítics dels Estats Units perquè podien dir: «Tot i que nosaltres produïm la majoria del CO₂ que va a l'atmosfera, el nostre país també n'absorbeix la major part —de fet, absorbeix tot el CO₂ que tot el món emet a l'atmosfera.»

Molts científics van pensar que hi havia quelcom sospitós en aquell estudi, alguna cosa que no quadrava. Atentament a les lleis de conservació no es pot crear més CO₂ del que va als ecosistemes. Com es pot solucionar aquest problema? Dos anys després, un altre grup de científics va fer un estudi per investigar-ho, també publicat a *Science*, el 2000, i van concloure que el grup de Fan s'havia equivocat en el càlcul. Els Estats Units no absorben 1,7 Pg sinó 0,2 Pg. Per tant, en dos anys i en una de les revistes més reconegudes del món podem veure com els Estats Units passen d'absorbir el carboni de tot el món a només fixar-ne una fracció ben petita.

Un any més tard, Steve Pacala i el grup de Princeton van publicar un altre article a *Science* on van dir que la xifra es trobava probablement entre aquests dos valors.

El que vull destacar aquí sense pretendre menysprear ningú, ja que són estudis molt ben elaborats, és que hi ha coses que no s'entenen *en absolut!* Les incerteses són immenses! Si s'intenta calcular la quantitat de carboni que entra als ecosistemes d'un país —escollint els millors experts per fer el càlcul— s'obtidran xifres molt discrepans. I aquesta és precisament la part global sobre la qual parlava al principi d'aquest escrit: les incerteses són enormes —no ho entenem tot. Com comencem a tractar aquestes incerteses? Necessitem retrocedir, començar a poc a poc, a escala local, entendre les coses i aleshores tornar a fer els càlculs globals. És, doncs, massa difícil començar a gran escala i pensar que obtindrem els números correctes amb tantes incerteses.

ELS INTERCANVIS DE CO₂ I ELS ECOSISTEMES TERRESTRES

Un dels majors reptes en la comprensió del cicle global del carboni durant les primeres dècades del segle XXI serà definir millor els intercanvis de CO₂ de la superfície de l'atmosfera en els ecosistemes terrestres. Com mesurem l'intercanvi de CO₂ de la superfície de l'atmosfera en ecosistemes terrestres? A continuació em submergiré en temes molt específics i intentaré explicar com efectuem aquestes mesures, que són una mica difícils d'obtenir. El nostre mètode utilitza torres elevades en diversos ecosistemes, en les quals instal·lem sensors al capdamunt a diferents alçades, i mesurem el CO₂ quan es mou entre l'ecosistema i l'atmosfera. Fem aquesta mesura deu vegades per segon —per als físics, ho mesurem a 10 Hz de freqüència. Només pensant en el temps necessari per tenir dades significatives podem entendre que pels nostres ordinadors circula una

gran quantitat d'informació, unes xifres enormes, que hem d'organitzar i analitzar.

Actualment, en tot el món es fa un esforç per mesurar els fluxos de carboni; el projecte s'anomena FluxNet, i inclou més de dues-centes torres a tot el món: CarboEurope (cinquanta o seixanta torres), Ameriflux (cinquanta o seixanta torres), OzFlux (Austràlia), ChinaFlux, AsiaFlux i també KiwiLux (Nova Zelanda). Aquestes torres informen de les seves dades —deu vegades per segon des de dues-centes torres— a una central: FluxNet, un petit laboratori situat a Berkeley, a la Universitat de Califòrnia. Dennis Baldocke s'encarrega d'ordenar totes aquestes dades i fer que siguin útils. Gràcies a Internet es pot obtenir informació dels fluxos de CO_2 de la majoria d'aquestes dues-centes torres i provar teories sobre l'intercanvi del carboni. Per tant, aquest és un exemple d'un esforç global organitzat a escala local.

A continuació, desenvoluparé en què consisteix la nostra tècnica de mesura. Mesurem mitjançant una tècnica anomenada *intercanvi net de CO_2 en els ecosistemes* (NEE, *net ecosystem CO_2 exchange*), que pretén determinar l'intercanvi de CO_2 entre la superfície i l'atmosfera; entre els ecosistemes i l'atmosfera, d'una manera molt simple. Es mesura W_a , que és la velocitat del vent en una direcció ascendent, i W_d que és la velocitat dels corrents descendents. El vent es mou en remolins circulars i, naturalment, s'ha de conservar el moment i la massa; així, el vent que es mou ascendentment sempre torna a baixar. La turbulència que transporta el CO_2 és circular. El que fem és mesurar la velocitat dels corrents ascendents i dels descendents i, a la vegada, mesurem la concentració de CO_2 d'ambdós corrents i les restem —el resultat del corrent descendent es resta del resultat del corrent ascendent i s'obté l'intercanvi net, i, per tant, quant CO_2 queda a l'atmosfera o quant n'entra a l'ecosistema.

El principi, doncs, és molt simple, però a la pràctica és

força complex. Què passa respecte dels fluxos laterals? El que fem, a la pràctica, és imaginar-nos una capsa al voltant de la torre. I aquesta capsa imaginària és el nostre volum. També suposem que el CO_2 que entra per un costat de la capsa és el mateix CO_2 que surt per l'altre costat de la capsa. Estem suposant, doncs, que el gradient del CO_2 horitzontal és zero. Sempre que es fa això se suposa un bosc molt homogeni i pla, on la vegetació sempre és semblant fins allà on es pot veure. Si el vent es mou horitzontalment, aleshores canvia una parcel·la d'aire d'aquí amb una altra parcel·la d'aire d'allà de manera que no altera la concentració de CO_2 . Si per les característiques del terreny té sentit fer aquesta suposició, aleshores l'únic que hem de fer és mesurar els fluxos verticals, a dalt i a baix.

El problema apareix quan intentem fer aquesta mesura en un terreny que no és totalment pla. Si el terreny té pendents i l'aire baixa pel pendent, i després arriba a terreny pla, la velocitat de l'aire canvia. També si el terreny és pla però es troba en una depressió petita, aleshores no hi ha concentracions de CO_2 homogènies al voltant. I, llavors, la teoria comença a fallar. Es compleix en terrenys plans, però no en terrenys amb pendents o de topografia complexa. Per exemple, si la torre es troba en una cota més baixa que el seu entorn pot passar que els fluxos nocturns del drenatge de l'aire fred facin mesurar concentracions i acumulacions de CO_2 més elevades. La topografia complexa —no plana— complica la mesura de les concentracions de CO_2 de tota la superfície.

Bé, això té una solució fàcil: no instal·lar les torres en zones muntanyoses. Millor posar-les sobre un terreny pla, i aleshores la teoria funciona, les mesures són correctes i tot és més fàcil. I això és el que molta gent ha fet.

De fet, en les reunions de FluxNet, quan es parla amb algú que vol construir una nova torre ràpidament es detecta la preocupació per la topografia complexa, la qual cosa fa deri-

var a cercar llocs plans on es pugui instal·lar la torre amb una teoria que funcioni. Hi ha un problema, però, en aquesta manera de pensar.

ELS TERRENYS COMPLEXOS

Si es mira un mapa i s'observa els indrets on es produeix la major part d'absorció de CO₂, es veu que no es dona en àrees planes. La major part d'absorció succeeix a les àrees muntanyoses, on hi ha boscos amb molta fusta per emmagatzemar el carboni. Als Estats Units els Great Plains que ocupen el centre el país són una àrea plana, i hi ha una absorció de carboni molt petita. Però, a les muntanyes costaneres, com Sierra Nevada, serra costanera que arriba des d'Oregon i Washington fins a Califòrnia, o els Apalatxes, al nord-est; els Ozark, al sud, o les muntanyes Rocalloses a la part central, és on es dirigeix el carboni. Això és el que es veu a partir dels resultats de Steve Running, de la Universitat de Montana, que ha efectuat càlculs per convertir la imatge del satèl·lit Modus de l'àrea de les fulles i extensió de boscos en índexs d'assimilació de carboni.

Per tant, l'opinió convencional que expressa la convenció de posar les torres en els llocs més plans no ajuda, si estem intentant entendre on es dirigeix el carboni. Hem d'aprendre a fer mesures en un terreny complex, en llocs amb pendents. I aquest és el tipus d'àrea que hem intentat estudiar durant els últims anys. Per tant, varem oblidar-nos de l'opinió convencional i varem posar la nostra torre en el terreny ple de pendents més complex que varem trobar: a les muntanyes Rocalloses. Per poder tenir en compte la complexitat del terreny varem haver de situar set torres en el nostre emplaçament. Al voltant de les torres hi ha boscos d'avets del Colorado amb alguns pins anomenats *pi de Murray* (*Pinus contorta*). De mitjana, és un bosc d'uns onze metres d'altura, mentre que una

de les torres és d'uns trenta-cinc metres, a la qual es poden instal·lar instruments i des de la qual es poden obtenir vistes meravelloses dels Great Plains.

Amb aquest dispositiu es pot veure un exemple de transició d'una escala local a una escala global. Tenim, des de fa sis anys, una torre instal·lada en un indret que anomenem Niwot Ridge AmeriFlux, que està situat a les muntanyes Rocalloses, a Colorado, als Estats Units. Aquesta zona està caracteritzada per un bosc subalpí amb avets subalpins, avets d'Engelman i altres espècies, a 3.050 m d'altitud.

La topografia de la zona on està instal·lada la torre és força complexa. De fet, vàrem construir set torres per tractar aquesta complexitat, ja que vàrem suposar que necessitaríem una bona cobertura del terreny per valorar amb precisió els gradients complexos de CO₂. Les set torres estan situades entre uns dos-cents i tres-cents metres l'una de l'altra. Per tant, estan relativament a prop, i són elevades.

Aquest conjunt de torres ens ha servit per entendre el gradient de la concentració de CO₂ a la superfície. De nit, l'aire flueix en sentit descendent fins a arribar a la part més baixa de la topografia —el rierol— portant CO₂.

Hem mesurat la concentració de CO₂ a un metre d'alçada, en cada una de les set torres. Tenim sensors a set alçades diferents, però només tenim en compte la d'un metre d'alçada, una distància raonable respecte del terra. L'observació de les dades ens permet copsar que a mesura que es fa de nit, la concentració de CO₂ és més irregular. Durant el dia al bosc es dona una gran mescla, fins i tot per sota d'un metre. Però a mesura que es va fent de nit, el CO₂ es comença a acumular a la part inferior de la topografia.

Esmento això per remarcar que la concentració de CO₂ és molt irregular i que la teoria per als fluxos de remolins és molt complicada. El que els nostres experiments proven —que la topografia marca diferències— ho posa tot difícil. El

que hem fet és, utilitzant les dades de les torres i un model matemàtic força elegant —en els detalls del qual no vull entrar en aquest escrit—, calcular el flux de CO_2 que baixa pel pendent per sota dels nostres sensors situats sobre la torre. Les mesures d'aquests gradients complexos de CO_2 les utilitzem per corregir els fluxos de remolins causats pel terreny. Si hi ha prou torres per caracteritzar el camp de CO_2 , es poden calcular els gradients i fer correccions en les mesures dels fluxos causats pels remolins. I d'aquí s'obtenen les dades que apareixen a la figura 3, referides a l'índex del segrest de carboni experimentat per aquest bosc, a Niwot Ridge, Colorado.

A la figura es representa l'intercanvi net de CO_2 acumulat a l'ecosistema, o carboni acumulat que és absorbit per cada metre quadrat del bosc. Què es vol dir quan s'utilitza el terme *acumulat*? El comptador es posa a zero, el primer dia de mesures, l'1 de novembre de 1998, en el moment en què

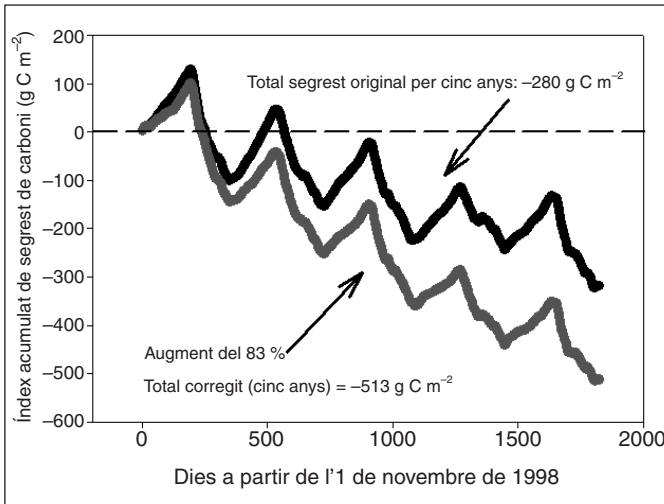


FIGURA 3. Ritme de segrest de carboni a Niwot Ridge, Colorado.

encenem tots els interruptors, en què la nostra primera torre comença a mesurar. Aleshores, afegim l'intercanvi de carboni de cada dia a la quantitat total acumulada anteriorment. A l'inici, vàrem posar en marxa el sistema de mesura l'1 de novembre, al principi de l'hivern, i durant l'hivern l'ecosistema perd carboni que va a l'atmosfera per respiració ja que durant aquest període no es produeix la fotosíntesi. Així, a la figura 3 els números positius corresponen a la respiració —el carboni es perd a l'atmosfera— i els números negatius volen dir que l'ecosistema fixa carboni de l'atmosfera.

Tal com es veu a la figura 3, durant el primer hivern es perd carboni de l'ecosistema, cada dia fins a l'1 de maig, que és quan el balanç de carboni de l'ecosistema canvia el comportament. A la primavera s'activa la fotosíntesi i es comença a extreure carboni de l'atmosfera. També durant l'estiu veiem com l'ecosistema absorbeix carboni de l'atmosfera. Per tant, l'atmosfera dóna carboni a l'ecosistema. Després d'un any sencer, de l'1 de novembre al 31 d'octubre, la diferència entre aquests és la quantitat neta de carboni que l'ecosistema ha extret de l'atmosfera durant tot l'any. Si es calcula la quantitat total acumulada en cinc anys, l'ecosistema ha extret uns 280 g de carboni de l'atmosfera. Això representa uns 56 g de carboni anuals de mitjana. Ara, aquestes xifres canvien una mica quan hi afegim la complexitat del terreny. El càlcul anterior s'ha obtingut suposant que era un emplaçament pla —però, en realitat, no ho és i, per tant, hem d'afegir la complexitat dels fluxos de CO_2 . Quan es tenen en compte la complexitat del terreny i el drenatge de CO_2 , el bosc esdevé encara més un embornal de carboni de l'atmosfera. En cinc anys, hi ha hagut un augment del 83 % de la quantitat de carboni que s'extreu de l'atmosfera.

Cal, doncs, remarcar que necessitem entendre el terreny complex, i necessitem entendre'l bé, per poder fer aquestes correccions.

Per acabar, m'agradaria dedicar uns paràgrafs a explicar una cosa molt nova que vàrem fer l'estiu passat. Intentem pensar a una escala una mica més petita, a escala regional. Tenim un bon càlcul del flux de CO₂ a escala local —el nivell de la base forestal—, i la pregunta és com traslladem les nostres observacions i connectem amb escales regionals? Ens ho vàrem plantejar associant-nos amb un grup del Center for Atmospheric Research, que també es troba a Boulder, i, a més, vàrem tenir l'oportunitat de poder utilitzar un avió C-130 que pertany al centre mencionat. L'estiu passat vàrem fer dues campanyes diferents: una de dues setmanes, al maig, i una altra també de dues setmanes, al juliol. Per dur a terme aquestes campanyes, es va necessitar un any i mig per endavant de preparació. Primer vàrem instal·lar els instruments a l'avió, després vàrem aconseguir que tots funcionessin correctament per fer mesures cada cinc o deu segons i, finalment, es van definir els recorreguts de l'avió per l'estat de Colorado.

La metodologia que hi ha al darrere de l'ús de l'avió per mesurar els balanços de carboni en zones més grans és força senzilla. Simplement, consisteix a fer volar l'avió fent passades pels contorns d'una mena de caixa rectangular que limita la zona d'estudi. La teoria, aleshores, és força senzilla: només es mesura la concentració de CO₂ que entra a la capsa, i s'utilitza un model per calcular el moment en què l'aire que mesurem en un extrem de la capsa *arriba a l'altre*, i aleshores volem per mesurar-ho *allà*. A la zona de l'estat de Colorado que vàrem elegir, el vol durava tres hores, des d'un extrem de la capsa a l'altre. Quan anàvem d'un costat a l'altre de la capsa sabíem que estàvem mesurant la mateixa massa d'aire, quan entra a la capsa i quan en surt. Calcular aleshores quant CO₂ s'ha absorbit és fàcil, simplement és la diferència entre el CO₂ entrant i el CO₂ mesurat que surt. Aquesta diferència

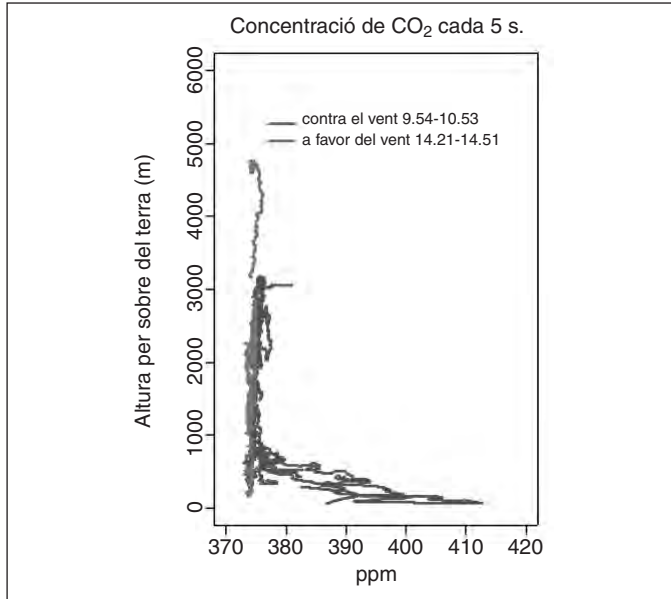


FIGURA 4. Concentració de CO₂ dels vols del 29 de juliol de 2004.

ha de coincidir amb el CO₂ que ha estat absorbit pels diferents ecosistemes de l'interior de la capsa.

A la figura 4 es poden veure els dos perfils d'un vol del mes de juliol. D'una banda vàrem volar durant una hora, entre les 9.54 i les 10.53 h del matí, per la part superior de la capsa i, tres o quatre hores més tard, entre les 14.21 i les 14.51 h, vàrem volar per l'altre extrem. A la figura 4 es representen també les concentracions de CO₂ segons l'altitud. Podem observar com, a baixa altura i al matí, les concentracions de CO₂ són relativament altes. Però quan l'aire ha passat per sobre de les muntanyes la concentració de CO₂ és molt baixa. Això significa que els ecosistemes de les muntanyes han absorbit molt CO₂. Com a primer pas, el resultat sembla relati-

vament força esperançador. El següent pas és comparar els fluxos de CO₂ de la torre local amb els fluxos regionals de CO₂ obtinguts mitjançant l'avió. Quan es fa aquesta comparació s'obté que els fluxos regionals obtinguts amb l'experiment amb l'avió són lleugerament més negatius que els fluxos mesurats amb la torre. I això sembla que vol indicar que els boscos de nivells més baixos tenen uns índexs de fotosíntesi més elevats i contribueixen més als fluxos regionals de CO₂ que el bosc on es troba la nostra torre. Per verificar-ho cal poder fer més experiments, i, com qualsevol científic astut faria, ens proposem recopilar aquesta informació i formular una proposta al nostre Govern en què demanem més torres, en altituds més baixes.

CONCLUSIONS FINALS

Per acabar i a manera de resum, es pot dir que el que entenem actualment del cicle global del carboni conté grans incerteses. Costa respondre a un polític quan pregunta: «Quant CO₂ extreuen de l'atmosfera cada any els Estats Units?» Costa molt explicar-los que la incertesa en una determinada xifra és d'un cent per cent!

Per tant, per a què serveix això? Nosaltres, com a científics, hem rebut molta pressió per aquesta raó en el passat; els polítics sovint no es fien de la nostra ciència perquè no els podem donar les respostes que pensen que la ciència els hauria de donar. Les incerteses són immenses, causades per les diferències en els plantejaments experimentals que s'utilitzen, però també per la falta de bona informació sobre l'intercanvi de CO₂ entre la superfície terrestre i l'atmosfera, la qual és essencial per poder acotar millor els models globals. Si hi ha dos-cents emplaçaments experimentals, els models ajusten les seves prediccions a aquests emplaçaments. Però convindria

tenir una xarxa de torres més densa, ja que això ens proporcionaria prediccions més precises dels models. La xarxa de torres s'han estès per tot el globus, amb l'objectiu de quantificar millor els fluxos de CO₂ entre els ecosistemes i l'atmosfera: dues-cents torres, i això va en augment —qualsevol que pugui convèncer el seu Govern perquè li atorgui una ajuda de cent mil a cinc-cents mil dòlars americans per construir una torre es pot unir a la xarxa. Hi pot participar qualsevol que vulgui construir una torre i fer mesures, tot i que és molt important que totes les torres mesurin el mateix. La qualitat de les dades que ha de sorgir de les torres està molt regulada, ja que els mètodes experimentals són molt exigents, en concret en els terrenys muntanyosos, on hi ha molts ecosistemes forestals. Pel que fa als cicles de carboni dels ecosistemes, també sorgeixen força incerteses; no obstant això, estem progressant força i mirem el futur amb optimisme.