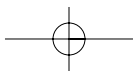
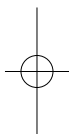
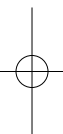


AULA D'ECOLOGIA

CIÈNCIA I TÈCNICA 41

Ecologia



ANNA ÀVILA I JAUME TERRADAS (EDS.)

AULA D'ECOLOGIA

CICLE DE CONFERÈNCIES
2008

Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Publicacions
Bellaterra, 2009

DADES CATALOGRÀFIQUES RECOMANADES PEL SERVEI DE BIBLIOTEQUES
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Aula d'Ecologia : cicle de conferències 2008 ; Anna Àvila, Jaume Terradas (eds.). — Bellaterra :
Universitat Autònoma de Barcelona. Servei de Publicacions, 2009. — (Ciència i Tècnica ; 41. Ecologia)

ISBN 978-84-490-2593-8

I. Universitat Autònoma de Barcelona
II. Col·lecció
III. Àvila, Anna
IV. Terradas, Jaume
1. Ecologia — Congressos
2. Fonts d'energia renovables — Congressos
3. Desenvolupament sostenible — Congressos
4. Medi ambient — Protecció — Congressos
502.17(063)

L'Aula d'Ecologia ha estat, en els cicles del 1996 al 2008, una iniciativa de l'Ajuntament
de Barcelona i la Universitat Autònoma de Barcelona, que ha tingut el suport,
en la coordinació i secretaria, del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF).

Director de l'Aula d'Ecologia

Jaume Terradas i Serra, catedràtic emèrit d'Ecologia de la UAB

Coordinadors per l'Ajuntament de Barcelona

Txema Castiella i Viu, Margarita Parés i Rifa

Preparació dels textos (resums de les ponències)

Anna Àvila (CREAF)

Coordinació de les sessions

Anna Àvila (CREAF)

Il·lustració de la coberta

El pteròpode o papallona de mar *Limacina helicina*, que podria ser un dels primers
organismes en veure's afectat per l'acidificació dels oceans.

Edició i impressió

Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Publicacions

08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Spain
Tel. 93 581 10 22. Fax 93 581 32 39
sp@uab.cat

<http://publicacions.uab.cat/>

ISBN 978-84-490-2593-8

Dipòsit legal: B. 17.463-2009

Impress a Espanya. Printed in Spain

Impress en paper ecològic



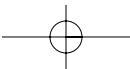
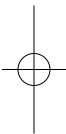
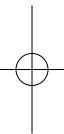
Aquesta publicació no pot ser reproduïda, ni totalment ni parcialment, ni enregistrada en, o transmesa per, un
sistema de recuperació d'informació, en cap forma ni per cap mitjà, sia fotomecànic, fotoquímic, electrònic, per
fotocòpia o per qualsevol altre, sense el permís previ de l'editor.

Índex

- 9-12 Pròleg, per Jaume Terradas i Serra
13 Ponents i programa de l'Aula d'Ecologia de l'any 2008

Tretzè cicle de conferències 2008

- 15-21 **Agustín Sánchez Arcilla**
La costa catalana i el canvi climàtic
- 23-35 **Joan David Tàbara**
El canvi climàtic com a oportunitat per a la transformació social
- 37-45 **Emilio Padilla Rosa**
L'economia del canvi climàtic
- 47-50 **Jordi Miralles**
Què podem fer des de casa per combatre el canvi climàtic?
- 51-55 **Josep Maria Gili**
Biodiversitat marina antàrtica: reptes, sorpreses i canvi climàtic
- 57-64 **Eva Calvo**
Oceans, els grans segrestadors de CO₂
- 65-72 **Mariano Marzo**
El subministrament del petroli: reptes i incerteses
- 73-78 **Antoni Farrero**
Els boscos urbans
- 79-84 **Joan Pino**
La fragmentació dels hàbitats a la regió metropolitana de Barcelona



Pròleg

Jaume Terradas i Serra

Catedràtic emèrit d'Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona i director de l'Aula d'Ecologia

Amb aquest ja són onze els volums publicats de resums de les conferències que es fan a l'Aula d'Ecologia. L'Aula és una iniciativa de l'Ajuntament de Barcelona que es realitza mitjançant un conveni amb la Universitat Autònoma de Barcelona i amb la cooperació del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF). El present volum correspon al cicle de conferències de l'any 2008, que va tenir lloc a la Casa Elizalde de Barcelona. Els resums han estat elaborats per la doctora Anna Àvila, investigadora del CREAF, i revisats pels mateixos ponents.

El cicle del 2008 va tenir un tema molt dominant, encara que vist des de perspectives molt diverses: el canvi climàtic. La raó és evident. A finals de 2007, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) va publicar el seu famós informe, pel qual va rebre el premi Nobel de la Pau, compartit amb el polític americà Al Gore, que s'ha distingit per les seves campanyes alertant dels riscos del canvi climàtic. Això va causar un impacte profund i ens va semblar adient reblar el clau entre els seguidors de l'Aula. Tanmateix, no totes les conferències van tractar aquest tema.

El doctor Agustín Sánchez-Arcilla, catedràtic de la Universitat Politècnica de Catalunya, va adoptar un punt de vista molt actual, el de la vulnerabilitat al canvi, concretament enfocat al cas de la costa catalana. Va destacar els processos de rigidització de la costa per la construcció d'edificis i infraestructures en molts casos, i en particular al delta del Llobregat. El delta de l'Ebre va merèixer una discussió específica, ja que no té problemes de rigidització però sí un risc clar de pèrdua de territori a causa de la pujada del nivell del mar i de la subsidència del Delta, de magnitud equivalent. Les aportacions de sediments actuals són una mil·lèsima part respecte dels que hi havia fa un segle. L'augment del nivell del mar pot suposar, per cada centímetre, una pèrdua d'un metre de platja. El conferenciant va concloure que calia emprendre mesures adaptatives de manera immediata.

Joan David Tàbara, sociòleg que treballa a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental, va parlar del canvi climàtic com a oportunitat per a la transformació social. Partint de l'obligada reducció d'emissions, va descriure les millores que es podrien assolir en l'organització del temps de la gent, l'organització de la recerca i les seves relacions amb el poder, en el sistema electoral i en el sistema de drets i responsabilitats, i va descartar que tot això es pogués assolir mitjançant mesures merament tecnològiques. La dedicació del ponent a l'estudi de les percepcions socials del canvi climàtic li va fer concloure que cal reforçar la potència de les narratives i establir complicitats i aliances sobre la base de no parlar del canvi només com una amenaça sinó també com una oportunitat. També va reivindicar un canvi en el coneixement que el faci més sistèmic, ètic i autocrític.

Emilio Padilla, professor d'economia aplicada a la Universitat Autònoma de Barcelona, va tractar diversos aspectes de l'economia relacionats amb el canvi climàtic. Va destacar el fet que els països més emissors de gasos hivernacle tenen poca motivació per reduir les emissions perquè no pateixen tant els efectes com els països menys desenvolupats. Va fer un repàs dels principals impactes previsibles del canvi climàtic a escala global i estatal i després va tractar sobre les limitacions i controvèrsies en l'anàlisi econòmica dels impactes del canvi climàtic i les polítiques de mitigació. Va explicar que l'informe Stern ha estat el primer a considerar que calen polítiques de mitigació per evitar costos molt més alts si no es posen en pràctica aquestes polítiques. Les discrepàncies neixen de les taxes de descompte de futur que s'empren, de l'aplicació del criteri de compensació en l'anàlisi cost-benefici convencional i d'un excés d'optimisme sobre l'evolució del clima per part dels economistes tradicionals.

Jordi Miralles, fundador i ànima de la Fundació Terra, es va centrar en la possibilitat de canviar els nostres comportaments domèstics per contribuir a mitigar el canvi climàtic mitjançant un ventall de mesures a l'abast de tots els ciutadans. Això implica assumir nous valors i acceptar algunes incomoditats, però també alliberar-nos de costos i servituds innecessaris. Aquest discurs pren més relleu si es considera tenint en compte el temps de crisi que vivim avui.

Josep Maria Gili, professor d'investigació del Consell Superior d'Investigacions Científiques a l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona, va parlar dels nous descobriments extraordinaris sobre la biodiversitat antàrtica i dels reptes que el canvi climàtic planteja per a la seva preservació. Gili va explicar que, durant el desgel, la productivitat primària de les aigües antàrtiques és la més alta del planeta a causa de les algues que

creixen a la base inferior de la plataforma de gel sobre el mar. Aquestes algues s'alliberen amb la fusió del gel i serveixen d'aliment al krill i a la cadena tròfica pelàgica (fins a les balenes), però també a ecosistemes bentònics descoberts fa ben poc. Aquests ecosistemes són molt diversos i han evolucionat protegits de la sedimentació provocada per aportacions fluvials a altres llocs del planeta i aïllats per forts corrents circumpolars. El canvi climàtic posa en perill aquest aïllament i un món que encara recorda molt les faunes extingides fa més de trenta milions d'anys a la resta de fons oceànics del planeta.

Eva Calvo també és investigadora de l'Institut de Ciències del Mar. Va centrar el nucli de la seva conferència en el cicle oceànic del carboni i la seva relació amb la regulació del diòxid de carboni a l'atmosfera. Als oceans, a fondàries mitjanes i grans, hi ha una acumulació de carboni equivalent a seixanta cops el carboni atmosfèric. Però si l'aigua s'escalfa, la solubilitat del diòxid de carboni disminueix i la captura per part dels oceans també. Les dades que va aportar qüestionen els suposats avantatges d'adobar els mars australs amb ferro per augmentar la producció primària. D'altra banda, va posar de manifest la tendència existent a l'acidificació dels oceans a causa de l'augment del diòxid de carboni dissolt, fet que dificulta la calcificació dels organismes amb closca, els quals contribueixen a derivar (i segrestar) carboni cap al fons. Va concloure que la humanitat està fent un experiment biogeoquímic incontrolat de grans dimensions, del qual es poden derivar resultats imprevisibles, i que cal incrementar el coneixement i prendre mesures ben aviat.

Mariano Marzo, un dels nostres principals experts en subministrament energètic, va parlar dels reptes i les incerteses en el cas del petroli. Va començar fent un documentat repàs a la dependència mundial de l'energia d'origen fòssil, especialment del petroli, i de la molt ràpida acceleració de la demanda. Després va analitzar el tema de les prospeccions, l'envelliment dels camps, les inversions en producció i les limitacions en el mercat pel predomini de companyies estatals. També va explicar els riscos d'interrupcions temporals d'abastament en relació amb qüestions geoestratègiques i el tema del zenit del petroli. Va assenyal·lar tendències inquietants, però va deixar una porta oberta per evitar un final desastrós.

Antoni Farrero és un expert en els boscos i la seva gestió. Va tractar el tema dels boscos urbans i, més concretament, de la seva situació en l'àrea metropolitana barcelonina. Va destacar-ne la fragmentació per urbanitzacions i vies de comunicació i la necessitat de protegir-los amb eines que vagin més enllà de la declaració de sòl no urbanitzable per donar-los contingut i personalitat. Va defensar el concepte d'infraes-

tructures verdes en xarxa ben connectada i la importància vital de les zones de frontera.

Joan Pino, professor d'ecologia a la Universitat Autònoma de Barcelona i investigador del CREAM, va tractar de manera més específica el tema de la fragmentació dels hàbitats en l'espai metropolità barceloní, i ho va fer en relació amb la capacitat d'aquests hàbitats per mantenir biodiversitat. Va reconèixer diversos tipus de fragmentació i el valor dels espais agroforestals com a reserves de biodiversitat. Va analitzar els efectes de la fragmentació i de la freqüentació sobre la riquesa d'espècies i les diferents respostes de diversos grups d'organismes a aquests factors a partir de dades obtingudes sobretot al Vallès. Després va presentar l'índex de connectivitat per treballar sobre territoris més extensos i va extreure algunes conclusions rellevants per a les estratègies de conservació

Com a director de l'Aula, em cal agrair, un any més, que l'Ajuntament hagi volgut continuar mantenint el seu suport a aquesta iniciativa, voluntat ben expressa per part de la tinent d'alcalde, Imma Mayol, i de la gerència del Sector de Serveis Urbans i Medi Ambient, i que la Universitat Autònoma de Barcelona també hi hagi continuat implicada. També he d'agradir al CREAM, al Servei de Publicacions de la UAB i a Magda Pujol i Javier Jerónimo (de les secretaries del CREAM i del Departament de Biologia Animal, de Biologia Vegetal i d'Ecologia de la UAB) la seva col·laboració. Com sempre, ha estat essencial en la coordinació la tasca feta des de l'Ajuntament per Marga Parés i des del CREAM per Anna Àvila, que també s'ha ocupat de redactar i editar els resums. Però l'agraïment més important ha de ser per als ponents i per al nombrós públic que, amb la seva presència i aportacions als debats, ha enriquit moltíssim l'Aula.

Ponents i programa de l'Aula d'Ecologia de l'any 2008

Tretzè cicle de conferències. Any 2008

Agustín Sánchez Arcilla, Catedràtic del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental i director del Laboratori d'Enginyeria Marítima. Universitat Politècnica de Catalunya
La costa catalana i el canvi climàtic

Joan David Tàbara, Investigador de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA). Universitat Autònoma de Barcelona
El canvi climàtic com a oportunitat per a la transformació social

Emilio Padilla Rosa, Professor del Departament d'Economia Aplicada. Universitat Autònoma de Barcelona
L'economia del canvi climàtic

Jordi Miralles, President de la Fundació Terra
Què podem fer des de casa per combatre el canvi climàtic?

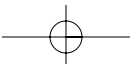
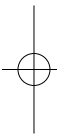
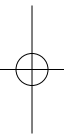
Josep Maria Gili, Investigador del CSIC a l'Institut de Ciències del Mar
Biodiversitat marina antàrtica: reptes, sorpreses i canvi climàtic

Eva Calvo, Investigadora del CSIC a l'Institut de Ciències del Mar
Oceans, els grans segrestadors de CO₂

Mariano Marzo, Catedràtic d'Estratigrafia. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona
El subministrament del petroli: reptes i incerteses

Antoni Farrero, Director gerent del Centre de la Propietat Forestal
Els boscos urbans

Joan Pino, Professor del Departament de Biologia Animal, de Biologia Vegetal i d'Ecologia a la Universitat Autònoma de Barcelona i investigador del CREAM
La fragmentació dels hàbitats a la regió metropolitana de Barcelona



La costa catalana i el canvi climàtic

Agustín Sánchez Arcilla

Catedràtic del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental i director del Laboratori d'Enginyeria Marítima. Universitat Politècnica de Catalunya

Introducció

Parlarem de la vulnerabilitat de les costes. Definiré el que entenem com a zona costanera i quins tipus de costes tenim; em referiré a quines variables modelen la costa i quina resposta presenten les costes respecte d'aquestes influències. Finalment, parlaré de quins són els riscos que les amenacen, per així poder definir la vulnerabilitat de les nostres costes.

Un exemple del dinamisme de les costes el tenim en el trencament de la barra del Trabucador del delta de l'Ebre produïda l'any 1990. Aquest fenomen, però, no és excepcional, ja que es produeix de manera natural aproximadament cada deu anys. El problema apareix quan s'instal·len activitats humanes (com un camí d'accés i una línia d'electricitat) en una costa tan dinàmica com aquesta, actuacions incompatibles amb la dinàmica natural i periòdica de la barra. Aquest exemple il·lustra el que serà el tema recurrent d'aquest text: l'arrel del problema de la costa és el fet que l'hem enrigidit, l'hem ocupada per als nostres usos sense considerar-ne la dinàmica natural.

Hem enrigidit la costa mediterrània amb estructures urbanístiques. Un cas extrem és el de Benidorm, on es dona la circumstància que s'ha construït tant que, a partir de migdia, no arriba el sol a la platja a causa de l'ombra dels gratacels. No sols l'hem enrigidit amb edificis, sinó també amb la construcció de carreteres o ferrocarrils, fet que suposa uns riscos importants per a aquestes infraestructures.

Sovint, aquestes infraestructures se situen en zona vulnerable i, per tal de defensar-les dels factors impulsors de canvis, cal mantenir un cordó sorrenc protector davant de les estructures antròpiques. No hi ha més bon protector que la mateixa sorra de la platja, i és per això que, a partir del 1980, el Ministeri de Medi Ambient va començar a aportar sorra a les platges com a defensa de les infraestructures de la costa. Un gest benin-

tencionat però que només constitueix una solució transitòria, ja que aquests dipòsits es continuen erosionant i necessiten una aportació constant.

La definició del que entenem com a costa, malgrat que sembli una qüestió senzilla, en realitat no és gens trivial. La definició que fem servir els qui treballem en el tema s'ha determinat de manera arbitrària, entenent que la costa afecta no sols la platja i la primera línia d'edificacions, sinó que hi ha altres elements influïts per la costa, arbitràriament determinats fins a una distància de 500 metres. No obstant això, cal remarcar que aquesta és una definició merament operativa que, per aquesta mateixa raó, introdueix una de les moltes incerteses que afecten el que entenem per sistema costaner. Per aquest motiu, i per les nombroses incerteses de les variables implicades en la dinàmica costanera, és molt difícil prendre decisions acurades.

Variabilitat climàtica

A més, el possible canvi climàtic a escala regional alterarà les variables meteoceanogràfiques que afecten la dinàmica costanera. I cal tenir en compte que no sols es produeix una variació en els valors de la mitjana de les variables que cal considerar, sinó que també n'augmenta la variabilitat, fet que realment afectarà de manera important la climatologia local i la resposta de la zona costanera, fortament dependent dels esdeveniments extrems.

Els dos tipus de costa que estan en un equilibri més fràgil i, per tant, són més vulnerables al possible canvi climàtic són: 1) els deltes i estuaris, i 2) les costes fortament antropitzades i enrigidides.

Els deltes de la costa catalana

Els deltes estan sotmesos a processos de formació (acreixement de la seva superfície) i de reducció (el procés contrari). Les variables que influeixen en la formació són la precipitació a la conca i la desertització, que fan augmentar l'aportació sòlida dels rius. Els processos de reducció estan associats a la remodelació de la costa i depenen de la pujada del nivell del mar, l'existència de tempestes i els canvis en la intensitat, direcció i freqüència d'aquestes tempestes.

El delta del Llobregat està sotmès a aquests mateixos processos, però, a més, per la seva situació dins l'àrea metropolitana de Barcelona, l'hem enrigidit en excés amb diverses actuacions com l'aeroport, la nova desembocadura del Llobregat i la construcció d'una àrea logística amb l'ampliació del port de Barcelona. En resum, hi hem posat un seguit d'infraestructu-

res molt costoses que l'han artificialitzat fortament. Això caldrà considerar-ho a l'hora de planejar la gestió dels riscos, tenint en compte que, al capdavant, no podem defensar tota la costa durant tot el temps, i s'haurà de prioritzar quines parts del sistema costaner volem defensar.

De tota manera, el cas més típic és el del delta de l'Ebre, el qual constitueix un exemple emblemàtic de vulnerabilitat al canvi climàtic pel fet que és una zona costanera molt baixa i, contràriament al cas del delta del Llobregat, poc enrigidida per l'obra humana. Per tant, el delta de l'Ebre pot constituir un exemple de dinàmica «natural», amb un elevat dinamisme que fa que sigui una zona on hi puguem aprendre molt. Al delta de l'Ebre hem trobat que en els darrers vint anys s'han perdut zones, com 1,5 km de costa a Cap Tortosa (dinàmica horitzontal). A més, el delta de l'Ebre s'està enfonsant (fenomen de subsidència), cosa que té l'efecte aparent que el nivell del mar està pujant (dinàmica vertical). El delta està patint un ascens relatiu del nivell mitjà del mar per subsidència equivalent al que es preveu que hi haurà com a resultat del canvi climàtic (entre 1 i 2 mm/any). Per tant, el delta de l'Ebre constitueix una zona d'experimentació excel·lent per estudiar el que pot passar a la resta de platges catalanes si es produeix aquesta acceleració en la pujada del nivell mitjà del mar.

Quan parlem de defensar la costa davant de la variabilitat climàtica hem de tenir en ment quina línia de costa és la que volem mantenir. La superfície deltaica del segle IV aC era diferent de la del segle XV, ja que aleshores el delta no estava tan desenvolupat. Per tant, unes extensions deltaiques com les d'aquells temps no són difícils de mantenir actualment. Però potser aquesta no seria una actuació ben acceptada per la societat actual, que voldria mantenir la superfície deltaica que ha conegut en èpoques recents. El missatge final seria que és molt important definir bé, i d'acord amb tots els estaments socials, quina és la línia de costa que volem defensar i mantenir. I, fins i tot, si ens plantejem de conservar el delta del segle XX, no és el mateix el del 1918, el 1956, el 1984 o el 1995. Si volguéssim tenir el delta del 1956 s'hauria de guanyar terreny al mar a l'illa de Buda. Per tant, hem de incloure consideracions sociològiques i econòmiques dins dels paràmetres de planificació, tot i que jo em centraré en la part més física.

Gran part (sobre un 70 %) del cabal dels rius catalans està regulat. En el cas del delta de l'Ebre, això vol dir que el delta ja no és natural, atès que la conca del riu que aportava sediments al delta ha estat regulada per l'home. Si la major part del riu està regulada per embassaments, no ens hem d'estranyar que el riu pateixi un retrocés a causa de la disminució de l'aportació de sediments de la conca. Aquesta aportació de

sediments a l'Ebre ha baixat de 100×10^6 tones/any fins a $0,1 \times 10^6$ tones/any entre el 1900 i l'actualitat. A més, el cabal líquid del riu també ha disminuït, i cal tenir en compte que per moure el sediment es necessita un cabal mínim d'aigua situat al voltant de $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Si el riu porta menys aigua, no es mobilitza sediment (del tipus sorra) cap a la costa. En els plans de transvasament, el cabal mínim ecològic era de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, un minso cabal incapaç de transportar sediments. Per tant, l'aportació sedimentària a la boca dels rius dependrà de la política de regulació fluvial i de l'existència d'embassaments, els quals actuen com a barreres al transport de sediments riu avall. Com que actualment la majoria dels rius importants estan regulats, els efectes de la climatologia en la producció d'avingudes es notaran amb una intensitat limitada.

L'onatge a la costa catalana

Mentre que per als cabals dels rius tenim registres de prop de 100 anys que ens permeten estudiar les tendències temporals, per a l'onatge només tenim dades a partir de l'any 1989. Recentment s'ha instal·lat una xarxa de boies davant de la costa catalana, de la qual nosaltres hem fet el desenvolupament científic per al Servei Meteorològic de Catalunya, en representació de diversos grups de la Generalitat de Catalunya, com ara Ports de la Generalitat i, principalment, el Departament de Política Territorial i Obres Públiques.

Les dades que se'n deriven es poden veure en línia al web de l'esmentat Servei Meteorològic o de la UPC, on també s'indiquen les previsions fins a tres dies. Quan analitzem aquestes dades, l'alçada d'onada mitjana no presenta cap tipus de tendència en aquests 15 anys (1989-2004). És a dir, no hi ha evidència que les tempestes siguin més fortes ara que fa uns anys. Per contra, la desviació típica ens indica que hi ha períodes més benignes i períodes més extrems. Si mirem el nombre de tempestes que han produït un onatge superior als 1,5 m, el llindar per sobre del qual es comencen a produir danys a la costa i que serveix per classificar el que és «tempesta d'onatge», veiem que hi ha una tendència creixent cap a onatges majors, tot i que hem de considerar amb prudència aquest resultat, ja que deriva d'una sèrie de només 15 anys, molt curta climatològicament parlant i, per tant, de representativitat limitada.

El nivell mitjà del mar a la costa catalana

L'efecte de l'augment relatiu del nivell del mar depèn del perfil i la topografia de la zona costanera. Si el nivell del mar augmenta entre 45

i 50 cm, tal com preveu el grup d'experts de l'IPCC en el seu darrer informe, es calcula que el període de retorn d'inundacions passarà de 75 a 7 anys, fet que tindrà un fort impacte en els ecosistemes i afectarà el volum de sorra de les platges i les infraestructures costaneres. Un altre fenomen que haurem de patir si puja el nivell del mar és la intrusió salina, que anirà avançant cap a l'interior del terreny.

Tal com s'ha citat al principi de la xerrada, una de les estructures més vulnerables a l'augment del nivell del mar són les infraestructures construïdes a la costa. Per protegir-les es construeixen dics i espigons. Els dics, que es construeixen paral·lels a la costa, tenen avantatges sobre els espigons, construïts perpendicularment, però l'onatge fort també pot passar-hi per sobre. I si això s'esdevé sovint, el resultat final serà que, malgrat que s'hagi omplert la costa de dics de pedra, no haurem aconseguit mantenir la sorra fina a les platges. Per això, el Ministeri del Medi Ambient no ha estat interessat en la construcció d'aquests tipus d'estructures a les costes, tot i que se n'han construït en algunes localitats, com per exemple, a la Barceloneta.

Ateses les incerteses de quant pujarà el nivell mitjà del mar, l'IPCC va proposar uns valors estimats que varien en una forquilla molt ampla, des de pocs centímetres fins a mes d'un metre. De tota manera, s'ha de tenir en compte que tota pujada del nivell mitjà del mar de magnitud semblant a la marea astronòmica no és significativa. Al Mediterrani tenim marees astronòmiques de 20 cm, però les costes del Cantàbric, amb marees diàries de 3 metres, estan més preparades per fer front a la pujada del nivell del mar que les nostres costes. A més, el nivell mitjà del Mediterrani no és sempre igual. Per exemple, quan tenim una alta pressió atmosfèrica, el nivell del mar baixa, i quan, després de l'estiu, tenim altes temperatures (cosa que provoca la dilatació de l'aigua), el nivell està més alt. Així doncs, al Mediterrani hi ha una diferència natural del nivell del mar d'uns 50 cm de l'octubre al febrer. Això implica que una variació de 30-40 cm pot ser fàcilment assumida al Mediterrani. Si s'ultrapassés aquest llindar començaríem a tenir problemes seriosos a les nostres costes.

El fet que el delta de l'Ebre presenti una subsidència d'1,75 mm /any, similar a la taxa d'augment del nivell del mar a causa del canvi climàtic, ens permet deduir el que podria passar a la resta del Mediterrani. S'ha vist que aproximadament per cada centímetre que puja el nivell del mar es perd 1 m de platja, tot i que això és una mitjana que depèn de moltes variables, ja que, com és natural, les platges de la Costa Brava es comporten diferent que les de Tarragona.

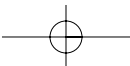
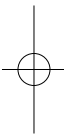
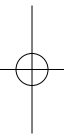
Conclusions

A causa de tots aquests motius, centrats al voltant d'una costa vulnerable, la Generalitat de Catalunya està en aquests moments desenvolupant un informe (*Llibre Verd de la Costa Catalana*) que recull tota la informació relativa al que s'està guanyant o perdent en cada tram de costa. Aquest informe està sent desenvolupat pel CIIRC (Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners) i està basat en fotos aèries de l'Institut Cartogràfic de Catalunya i tota la resta d'informació sobre variables costaneres que tenim disponible. En general, trobem que el balanç general de la costa catalana és de pèrdua de sediments. També tracta sobre les velocitats amb les quals el sediment es mou al llarg de la costa, però aquí hi ha molta incertesa (de vegades el marge d'error és del 50 %). Hem de tenir en compte que la major part del transport de la sorra de les platges es produeix durant les tempestes: l'onatge modela la costa durant les tempestes i a la resta de l'any gairebé no passa res. Això fa que s'hagi de treballar estadísticament amb els extrems (els períodes de gran onatge), i treballar estadísticament amb les puntes és molt més complicat i proporciona estimacions molt més incertes.

La resposta de la costa als factors modeladors depèn de la morfologia costanera. Les costes sedimentàries baixes són les que primer respondran a aquests canvis. En particular, els deltes de la costa catalana (Ebre, Llobregat, Tordera), juntament amb els d'aiguamolls costaners, apareixen com a directament amenaçats pels canvis locals en la disminució d'aportacions sedimentàries, l'augment del nivell del mar i la major persistència i freqüència de tempestes. El màxim risc d'afectació per la pujada del nivell mitjà del mar es produeix a les platges protegides interiors, les quals reben poc sediment. Per exemple, les llacunes interiors tenen un cert risc d'inundació i una limitada resposta dinàmica. El seu principal factor de risc és l'augment del nivell mitjà del mar. En segon lloc, hi haurà una important afectació a les platges confinades i estretes, per exemple, a les platges urbanes mantingudes artificialment. El seu principal factor de risc és l'augment del nombre i la intensitat de les tempestes i la pujada del nivell del mar. En tercer lloc, tenim les platges de poc pendent i sediment fi. El seu principal factor de risc és l'augment del nombre i la intensitat de les tempestes. També hi ha risc a les platges sotmeses a una combinació de factors meteorològics locals, com la combinació de fort onatge, la pujada del nivell del mar i l'existència de riuades. Finalment, la màxima vulnerabilitat la tenim en platges que suporten usos i recursos d'alt valor (infraestructures i

assentaments) i que estan afectades per una combinació de factors (onatge, nivell del mar i inundacions).

Cal iniciar una planificació i actuació immediata a fi d'anticipar-nos als efectes esmentats deguts a l'acceleració de la variabilitat climàtica, tenint en compte que no serà factible defensar totes les costes baixes de Catalunya simultàniament. Les estratègies de resposta possibles han de considerar la geomorfologia, l'ecologia i l'economia de cadascun dels trams costaners, així com les infraestructures existents. A tot això cal afegir-hi el fet que hi ha grans dificultats en la predicció dels efectes i en la integració i quantificació de les conseqüències, en part a causa del fet que hi ha diferents escales espaciotemporals que s'han de considerar. No obstant això, aquestes incerteses no han de impedir que es comenci a actuar.



El canvi climàtic com a oportunitat per a la transformació social

Joan David Tàbara

Investigador de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA). Universitat Autònoma de Barcelona

Introducció

Mirar  de fer una presentació del canvi climàtic en positiu, és a dir, no tant com a amenaça o malefici inexorable, sinó més aviat com una oportunitat. En particular, intentar  defensar que les accions necessàries per abordar l'escalfament global del planeta suposen, en realitat, un conjunt d'oportunitats úniques per posar en pràctica accions ambientalment i socialment sostenibles que, de tota manera, hauríem de portar terme si el que volem   millorar la nostra qualitat de vida i el nostre benestar a llarg termini. En particular, hi ha quatre arguments entrellaçats que plantejar  a continuació:

- 1) Les principals reduccions de l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle —no les minses reduccions acordades al protocol de Kyoto, sinó les gran reduccions de l'ordre del 60-80 % en el període 2030-2050 que són necessàries per començar a descarbonitzar l'economia i la societat— sols poden venir si fem canvis radicals i profunds en el *conjunt* en l'organització social.
- 2) En concret, aquests canvis concerneixen a com organitzem el nostre temps, l'espai i el treball. Ara no aprofitem prou bé el temps, fem malbé l'espai i treballem en moltes coses que són del tot inútils, tant per a les persones com per al medi ambient. Si millor ssim aquests tres aspectes, no solament milloraria la nostra despesa d'energia i ajudar em a combatre el canvi climàtic, sinó que amb tota seguretat viur em molt millor i seriem molt més feliços.
- 3) Aquests canvis enunciats també tenen a veure amb la nostra visió del coneixement i la ciència, amb com s'estructura el poder i com s'assignen les responsabilitats individuals. Per exemple, són necessàries reformes en els processos de generació del coneixement científic (basat

sobretot en departaments disciplinaris), canvis en el sistema electoral (poc participatiu i sense credibilitat) i també equilibrar els “drets” que cadascú creiem que tenim en l'ús de recursos amb la contribució de cadascú en la responsabilitat de conservar-los.

- 4) Com a derivada dels arguments anteriors, val a dir que les solucions tècniques són del tot insuficients per mitigar i facilitar-nos l'adaptació al canvi climàtic. Per tant, l'única via factible i eficaç a llarg termini per abordar el canvi climàtic des d'una perspectiva integral i sostinguda és la d'efectuar una veritable transformació social i individual que respecti el criteri de màxima preservació possible de la diversitat cultural i biològica, i que contribueixi a restaurar i millorar la capacitat i la resiliència del conjunt dels sistemes socioambientals globals de les quals depèn el nostre desenvolupament present i futur.

Abans, però, d'abordar aquests quatre arguments voldria comentar el context polític, científic i social del canvi climàtic i el paper que poden tenir les ciències socials per contribuir a la seva millor comprensió i a delinear les possibles accions que cal iniciar.

Ciència i política del clima

El canvi climàtic és una expressió dels límits en la capacitat dels ecosistemes globals d'absorbir la contaminació acumulada de dos segles d'industrialització. Segons el darrer informe de l'IPCC (2007), 11 dels 12 anys compresos entre el 1995 i el 2006 foren els més calorosos des que es té registre global de les temperatures, registre iniciat l'any 1850. Aquestes temperatures han estat probablement les més altes dels darrers 1300 anys. Es preveu que la temperatura mitjana global podria augmentar entre 0,3 i 6,4 °C l'any 2100, tot i que les darreres previsions tendeixen a augmentar aquests valors. Per primera vegada, l'IPPC afirma que *molt probablement* l'augment de les temperatures observat es deu a emissions d'origen antropogènic. En el cas que passéssim dels llindars de 450-600 parts per milió (ppm) en les concentracions de CO₂ a l'atmosfera a finals del segle XXI, els impactes podrien ser catastròfics. El que cal reconèixer és que per primera vegada els humans ens estem adonant que constituïm una veritable força de canvi ambiental global (el que algú ha anomenat *antroposfera*). La temperatura que finalment tinguem a final d'aquest segle dependrà del que fem ara, de l'acció o inacció que decidim adoptar o posposar a partir d'avui mateix.

D'altra banda, cal tenir en compte la persistència dels efectes i les distintes temporalitats entre les emissions, les concentracions, els impactes,

les respostes, l'efecte de les respostes i de les mesures polítiques. Les escales d'acció-reacció són molt distintes i això limita l'efectivitat de les polítiques. Altrament, tenim tant inèrcies del sistema climàtic (dinàmiques autònomes del sistema biofísic) com inèrcies dels sistemes socials (és a dir, dinàmiques difícils de modificar a curt termini en el consum, la producció i l'organització de l'espai). Aquestes últimes són poc estudiades i sovint difícils de corregir, ja que depenen de la capacitat d'aprenentatge social i de la flexibilitat dels sistemes institucionals, cada vegada més densos i congestionats. Així doncs, quan parlem del canvi climàtic, en la situació política i econòmica actual i en el context de les ciències socioambientals, ens centrem en l'anàlisi de les seves causes no naturals, altrament dit, les causes *humanes*.

En política internacional del clima, el protocol de Kyoto (COP-3; XII-1997) marca el principal procés d'establiment de compromisos vinculants a escala internacional. El seu objectiu fou reduir en un 5,2 % les emissions globals durant el període 2008-2012 en relació a les emissions del 1990. Per tal que el protocol de Kyoto es posés en pràctica calia complir el requisit que fos signat com a mínim per 55 països, responsables almenys del 55 % de les emissions globals. Això no es pogué aconseguir fins al 2005. El protocol entrà en vigor el 16 de febrer de 2005. Per facilitar-ne el compliment, es van idear tres mecanismes de flexibilitat que permetessin assolir reduccions o compensar emissions de la manera més eficient respecte als costos: 1) implementació conjunta; 2) mercats d'emissions, i 3) mecanismes de desenvolupament net. Aquests mecanismes, malgrat que han estat criticats, han tingut un notable efecte positiu a l'hora de "socialitzar" el problema del canvi climàtic a escala mundial, i integrar aquesta preocupació dins del sistema econòmic, tot creant noves oportunitats de negoci.

En el protocol de Kyoto, la Unió Europea es va comprometre a reduir les seves emissions en un 8 % en el període 2008-2012 respecte de les emissions del 1990. No obstant això, en realitat, l'any 2005 el grup original de l'Europa dels 15 (EU15) sols havia reduït un 1,5 % les emissions. Tanmateix, si es considera la Unió Europea dels 27, la reducció és d'un 7,9 %, gràcies a les reduccions tecnològiques dels països de l'Est (com ara en el sector del carbó). Actualment, però, la Unió Europea s'ha fixat uns objectius més ambiciosos amb vista al 2020: 1) una reducció en un 20 % en les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle; 2) una reducció en un 20 % en el consum global d'energia, i 3) un increment en un 20 % en l'ús d'energies renovables (amb la possible contradicció del consentiment en la importació de biofuels). La bona i sorprenent notícia de tot això és que per primera vegada s'ha posat un límit en el

consum de recursos. Aquest pla s'ha establert per tal de contribuir a l'objectiu global de no superar el llindar de 2 °C d'escalfament l'any 2100. Caldrà veure com afecta l'actual crisi econòmica l'assoliment d'aquests objectius...

La Unió Europea va acordar que Espanya podia incrementar les seves emissions per al període 2008-2012 en un 15 % com a màxim. No obstant això, les emissions ja havien augmentat en un 52,3 % l'any 2005. És probable que per al període 2008-2012 les emissions de CO₂ arribin a ser unes quatre vegades superiors a les que el país es va comprometre, tot i que el 2006 es va aconseguir una reducció del 4 %.

Percepció, comunicació i desenvolupament de processos participatius

Des de fa més de 12 anys em dedico a l'estudi de la percepció del canvi climàtic. Fins fa ben poc, la majoria de les investigacions internacionals eren de caràcter qualitatiu, utilitzant grups de discussió en poblacions i mostres molt petites. Aquests estudis han fet ús tant de fonts directes a través d'entrevistes com de fonts indirectes mitjançant l'anàlisi del contingut de la premsa i/o publicacions de grups d'interès que intenten "emmarcar" el canvi climàtic de la manera més convenient segons els seus interessos. En aquest camp hi ha una línia de recerca social molt interessant, on participa el sociòleg dels Estats Units Riley E. Dunlap, que val la pena esmentar. Es tracta de l'anàlisi de les estratègies dels *think-tanks* conservadors (principalment als Estats Units, però amb connexions internacionals) en el seu objectiu de desqualificar els arguments científics de crisi ambiental a través de la producció de llibres amb fort ressò mediàtic (més de 140 en el període 1972-2005), on també s'inclou el canvi climàtic.¹

Ara, no obstant això, hi ha un ràpid increment de sondatges quantitatius que aborden el tema del canvi climàtic. Cada vegada disposem de més dades quantitatives sobre els processos de percepció i comunicació i sobre el desenvolupament de dinàmiques de participació i integració de coneixements relatives a la formulació de mesures i plans d'acció en aquest camp. Si mirem dades internacionals, els informes mostren que, en general, tres quartes parts de la població tendeixen a mostrar un notable nivell de conscienciació i de preocupació pel canvi

¹ JACQUES, P. J.; DUNLAP, R. E.; FREEMAN, M. 2008. "The organisation of denial: Conservative think tanks and environmental scepticism". *Environmental Politics*, 17(3): 349-85.

climàtic. A la pàgina web del CADS aviat apareixerà un informe que he coordinat sobre la percepció i la política del canvi climàtic a Catalunya.² En aquest treball, per exemple, es mostra un estudi on vam reunir tots els articles publicats als diaris *La Vanguardia*, *El País*, *El Periódico* i *Avui* sobre canvi climàtic en els darrers 16 anys (uns 2600 en total), i vam veure com en els darrers tres o quatre anys s'ha inundat l'espai comunicatiu amb notícies sobre aquest tema. Això és molt interessant, ja que els problemes ambientals globals són sovint difícilment experimentables en primera persona; per tant, hi ha una gran dependència dels mitjans de comunicació. El fet de poder fer un seguiment dels articles de premsa sobre canvi climàtic permet veure com evoluciona la percepció social d'aquest problema per al conjunt de la població.

Un dels primers estudis que vaig portar a terme sobre la percepció del canvi climàtic fou dins del projecte europeu ULYSSES entre els anys 1996 i 1999.³ En aquest projecte participaven trenta investigadors de deu centres de recerca de tot Europa. Uns 600 ciutadans europeus van ser consultats qualitativament. Es va fer ús de fonts expertes d'informació, per a grups de discussió d'unes 6-9 persones. A Barcelona es formaren grups de 38 persones amb 5 experts. Es treballava de manera intensiva, en tongades de 5 sessions —que fins i tot podien durar dues setmanes— on anàvem subministrant informació sobre el canvi climàtic i al final recollíem la seva opinió. Entre els resultats destaca que, en general, a la gent no li interessen els aspectes científics del canvi climàtic (com ara quins son els gasos causants o els processos biofísics que hi intervenen), sinó saber què hi poden fer i quins canvis han d'aplicar en la seva vida diària. Un segon resultat fou contraintuïtiu. S'havien passat qüestionaris a l'inici i al final del procés de consulta. Vam veure que, després de parlar del canvi climàtic durant cinc dies, la gent estava *menys* convençuda del canvi climàtic que al principi de les sessions, en dubtaven més tant els qui no tenien dubtes sobre el canvi climàtic com els qui el negaven. Així, a mesura que s'incrementava la discussió sobre el canvi climàtic, també s'incrementava el reconeixement de la incertesa i la complexitat del

² TABARA, J. D. (Coord.). 2008. *Percepció i política del canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Consell Assessor de Desenvolupament Sostenible de Catalunya i Grup d'Experts de Canvi Climàtic a Catalunya.

³ Vegeu TABARA, J. D. 2006. "El naixement d'una nova ciència: la sostenibilitat". Introducció a la traducció al català del llibre *Public Participation in Sustainability Science*. Cambridge, Regne Unit: Cambridge University Press. Disponible a: <http://www.udg.edu/dghha/cat/secciogeografia/mediambient/cat/projecteMUGA/resultats/capitols/default.htm>

problema. Però, d'altra banda, també augmentaven aquells que deien que havíem de fer alguna cosa per solucionar-ho. Així es veia la necessitat d'actuar-hi precautòriament i, doncs, s'havia produït un veritable procés d'aprenentatge: el del principi de la precaució, que no és altra cosa que reconèixer el que no se sap i intentar fer tot el que calgui per evitar el pitjor.

Per tant, aquests exemples permeten argumentar que, davant d'una qüestió tan complexa i plena d'interessos i valors socials (i on també hi intervé el coneixement científic) del que es tracta no és simplement de proposar mesures o obtenir resultats finals, sinó de com contribuir a consolidar *processos* de capacitació, transformació i aprenentatge social capaços d'integrar llenguatges, experiències i coneixements adaptats a cada context d'acció. Les estratègies d'adaptació i mitigació han de ser diferents en cada cas —si bé coordinades—, i en cada situació concreta. El repte i la dificultat principals consisteixen a poder construir narratives potents per a la transformació social i que tinguin un ampli suport per part de la societat. Per tant, cal crear complicitats i aliances, motivació i una col·laboració entre actors que no és possible aconseguir, al meu entendre, solament emmarcant el canvi climàtic com una amenaça. No és un problema de no saber-ne prou —de fet ja en sabem prou per fer molt més del poc que ara fem—, és més aviat un problema de no tenir prou suport i voluntats socials per crear capacitats i institucions per a la transformació.

El canvi climàtic com a oportunitat per a la transformació social

De manera sintètica, he seleccionat sis dimensions que em semblen fonamentals per estimar quins són els requeriments d'una veritable transformació de la societat que no solament permeti assolir els objectius d'adaptació i mitigació del canvi climàtic per evitar situacions catastròfiques a gran escala, sinó que, a més —o independentment de la inexorabilitat del canvi climàtic—, permetin també avançar en la millora i el benestar de la societat en general —condició per a la sostenibilitat. Primer, consideraré la necessitat d'aplicar límits al creixement, fent ús del principi de suficiència. En segon lloc, entenc que és necessari reorientar els processos actuals de producció científica i d'aplicació de coneixement. En tercer lloc, entenc que cal aprendre a reorganitzar de soca-rel el temps, el treball i l'espai. En aquest sentit, és necessari un replantejament profund del concepte de "producció" (ara més associat a la destrucció que a cap altra cosa). En quart lloc, hem de considerar quin és el paper de la reorganització del poder, de les

institucions i dels sistemes d'informació —incloent-hi el mercat—, i com es redistribueixen les responsabilitats individuals en l'ús i abús dels recursos naturals. Les possibilitats de transformació depenen en gran mesura d'aquestes institucions i lligams estructurals. Per això, i en cinquè lloc, cal tenir en compte com podem estimular la mobilització i capacització d'*agents de canvi* (aquells que realment volen fer alguna cosa enfront d'aquells que volen mantenir les coses com estan), per tal que puguin participar de les estructures de poder i avançar cap a una veritable transició. I finalment, i d'una manera molt significativa, cal fer palès que qualsevol avenç cap a aquests grans objectius dependrà en gran mesura de la capacitat i decisió que mostrem tots i cadascun de nosaltres en la veritable defensa i promoció de les diversitats biològiques i culturals i la restauració dels sistemes socioecològics globals.



Figura 1. Sis dimensions per a la transformació social.

Sostenibilitat, ecoeficiència i suficiència

La sostenibilitat pot ser vista com a ideologia, ja que es pot entendre com un principi ideològic, equiparable als tres pilars de la revolució francesa de llibertat, igualtat, fraternitat i... sostenibilitat! O com principi

operatiu per a l'orientació de la política i els afers col·lectius.⁴ Si ens centrem en aquesta accepció, podem dir senzillament que sostenibilitat és igual a suficiència més ecoeficiència. El que vull argumentar aquí és que les polítiques d'ecoeficiència són ineficaces si no es combinen amb polítiques de suficiència. Cal fixar límits (suficiència), ja que a mitjà i a llarg termini tots els avenços en ecoeficiència per unitat de producció acaben sent absorbits per increments en la millora de l'eficiència en el consum total de recursos (això s'anomena efectes rebot, *rebound effects*). El problema de les polítiques adreçades solament a l'ecoeficiència és que tendeixen a reforçar l'actual estructura de poder i la insostenible distribució en l'ús de recursos. Les polítiques adreçades a fixar límits (de manera conscient, precautòria i adaptativa) impliquen una reorganització del poder i canvis profunds en l'organització social, i això és realment difícil. Fixar límits, però, no hauria de ser vist com un problema, sinó, al contrari, com una garantia i l'única possibilitat per assegurar la sostenibilitat en l'ús de recursos i del benestar a llarg termini. Aprendre a saber què no hem de fer (què no hem de consumir o destruir) és un dels aspectes més importants però més difícils del procés d'aprenentatge cap a la sostenibilitat.

La segona dimensió que vull comentar és sobre el paper de la ciència en tot això: entenc que cal una important reorientació dels processos de producció de la ciència i del que entenem per coneixement. Què és, de fet, saber? Hem après realment alguna cosa pel que fa a la sostenibilitat de les societats humanes? O ja hem perdut molts dels coneixements que necessitàvem per garantir la nostra sostenibilitat global creant uns coneixements, unes pràctiques i unes institucions que ja no són adequades per al món que nosaltres mateixos hem creat? La "ciència de laboratori", aquella que es fa dins de les disciplines estanques i que ha dominat fins ara, és sobretot de tendència reduccionista i parcial. Malgrat ser totalment necessària, és insuficient per resoldre els actuals problemes de canvi ambiental global i d'insostenibilitat. Necessitem una ciència —no oposada sinó complementària a l'actual— que ens permeti entendre el conjunt i d'una manera molt més interconnectada i integral. Necessitem un coneixement relacional, transversal i que permeti observar interaccions. Necessitem un altre tipus de coneixement que sigui capaç d'introduir aspectes ètics i els sabers i les necessitats de la gent que viu en els contextos d'aplicació d'aquests mateixos coneixements i permeti la implicació

⁴ TÀBARA, J. D. 2001 (1999). "Participació i coneixement per a la sostenibilitat". *Papers de Medi Ambient*, 13: 93-104.

àmplia de la ciutadania en la seva producció. El problema del canvi climàtic ja no és un problema de manca de coneixement, sinó de crear un altre mode de coneixement que doni suport a l'acció, estimuli la col·laboració i estigui dirigit a la reestructuració i a la transformació socials. Tal com afirmava Lester W. Milbrath,⁵ el problema de la societat moderna és que, amb la seva gran quantitat d'informació, és molt possible que acabi sent rica en informació però molt pobre en coneixement. Per això crec que en realitat... un altre coneixement és possible! Un coneixement que sigui sistèmic, ètic, integrador, reflexiu, amb capacitat d'integració, que accepti el que no sap, crític amb la mateixa ciència i la tecnologia, "amb consciència", enfocat a la transformació, no oposat a la vida i a la diversitat, dirigit a la cooperació, a millorar la resiliència socioambiental, anticipatori, etc. En definitiva, un coneixement que integri una nova concepció de les relacions dels éssers humans amb els sistemes naturals i amb la vida en general i que eviti els dualismes en què ara opera la ciència dominant —entre home i natura. Es tracta d'un canvi cultural, és a dir, no cal produir "més coneixement", sinó una altra mena de coneixement, ja que, si no l'aconseguint i l'apliquem, sempre acabarem tornant al mateix lloc —és a dir, manufacturant de manera molt perillosa més ignorància en lloc de més coneixement aplicable a solucionar els problemes que planteja l'actual situació d'insostenibilitat creixent.

En tercer lloc, hem de considerar la reorganització del temps i de l'espai, així com el concepte del treball i els conceptes de benestar i qualitat de vida. Jo personalment em pregunto: podem abordar el problema del canvi climàtic simplement a través de mesures tecnològiques o cal una veritable transformació social i política? Podem realment resoldre el canvi climàtic sense canviar els actuals estils de vida, les estructures de poder i les nostres institucions? El problema del canvi climàtic no solament és un problema d'increment d'emissions, no és sols un problema "ambiental" o "ecològic", sinó de sostenibilitat, i, aleshores, polític, cultural, social, econòmic, ecològic i, com ja he comentat, de producció i gestió del coneixement. Un problema sistèmic de causes i efectes estructurals que demana solucions estructurals. Per això, cal normalitzar i centralitzar (*mainstream*) el canvi climàtic en les rutines de decisió política, econòmica i social. I, en aquest sentit, és fonamental la reorganització del temps i del treball, així com el

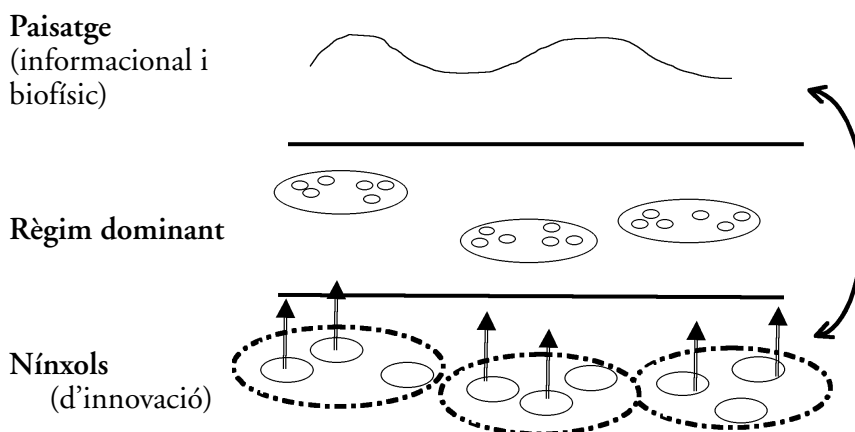
⁵ MILBRATH, L. W. 1989. *Envisioning a Sustainable Society. Learning our Way Out*. Albany: State University of New York Press.

replantejament de conceptes com “producció” i “creixement”, ja que actualment responen més a qüestions de manteniment de l'ordre públic i control del poder que no pas a qüestions dirigides a garantir el benestar de la població i la sostenibilitat. Per aquest motiu, alguns estudiosos i organitzacions —fins i tot l'Agència Ambiental Europea— comencen a plantejar el concepte de “temps i treball inútils” (com el de comerç inútil —*useless trade*—). És a dir, tots aquells processos i hores de treball que no solament no són rendibles respecte a objectius que tenen fixats, sinó que els seus mateixos objectius no tenen sentit des del punt de vista econòmic, ambiental o social (milions d'hores perdudes en desplaçaments laborals, unes mateixes mercaderies que van i vénen d'un mateix país, guanys en temps que creen més demandes de temps, etc). Seria molt llarg enumerar tot això ara, però la idea principal és suggerir un món més tranquil, i més lent, molt més eficient i menys absurd respecte de l'ús de recursos, el temps i l'espai, i que molt probablement derivaria a un major benestar social i ambiental. En altres paraules, si aprenem a viure millor i a perdre menys el temps fent coses inútils, segurament millorarem la nostra qualitat de vida, tindrem més probabilitats per garantir la sostenibilitat i molt possiblement també contribuirem a reduir, i molt, l'impacte del canvi climàtic.

Però, com transformar la societat? Es pot investigar això des de les ciències socials? Les idees que presentaré a continuació les hem treballat conjuntament amb investigadors de l'Institute of Transitions, a Holanda, i en particular amb el professor Jan Rotmans i altres investigadors de talla internacional, com Paul Weaver i Jill Jager, dins d'un projecte europeu anomenat Matisse (www.matisse-project.net), i penso que són rellevants per entendre la quarta dimensió que he seleccionat per comprendre les condicions de transformació socioecològica en el present context de canvi climàtic i creixent insostenibilitat.

Segons la teoria de transicions, les societats es poden conceptualitzar d'una manera senzilla com si tinguessin tres nivells o espais de desenvolupament: un primer nivell o espai és el que està constituït pels grups actius o nínxols on es fan les innovacions; un segon nivell és el que ostenta el poder i on està instal·lat el règim dominant i, doncs, és el que pretén mantenir les coses tal com estan, i finalment un tercer espai està format pel conjunt de signes d'informació que es produeixen en un espai que s'anomena paisatge i que influeixen tant en el règim dominant com en els nínxols de canvi i innovació. Quan es produeix una certa interacció entre els nínxols i el paisatge —com va ocórrer amb el cas de la Directiva Europea de l'Aigua i les accions portades per grups locals a Espanya com el moviment per una nova cultura de l'aigua—,

sorgeix una competència amb el règim dominant i és possible que algunes demandes arribin al poder, transformant algunes de les seves pràctiques.⁶ (Figura 2)



Les transicions es poden modelitzar i tenen diverses etapes. En general, podem veure que se'n produeixen tres, on hi ha un procés de desenvolupament, una acceleració i, finalment, una estabilització. Així doncs, les societats que no s'adapten a les condicions canviants del paisatge i arriben a una nova situació d'estabilització desapareixen. Per exemple, això ens podria ajudar a pensar el que cal fer per passar a una societat descarbonitzada: cal atorgar poder a aquells agents que volen innovar i transformar a partir dels coneixements de què disposen, per tal que, d'aquesta manera, arribin al règim dominant i contribueixin a la transició.

En conseqüència, i en cinquè lloc, val a dir que les transformacions socials es donen per tal com els nínxols arriben al règim i creen una nova situació estable al llarg del temps. A fi que es puguin produir aquests processos de capacitatció (*empowerment*), és molt important l'experimentació i la demostració. Cal posar un especial èmfasi en l'experimentació per a l'aprenentatge social. La transició a una societat

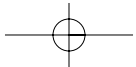
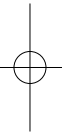
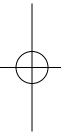
⁶ TABARA, J. D.; & ILHAN, A. 2008. "Culture As Trigger For Sustainability Transition in the Water Domain. The case of the Spanish water policy and the Ebro river basin". *Regional Environmental Change*. Vol 8(2): 59-71.

descarbonitzada requereix coneixements i capacitats que s'han d'aprendre a partir d'experiments i accions demostratives concretes i d'innovació a petita escala i que es puguin traspasar progressivament a escales més grans (*learning by doing, doing by learning*). Cal decidir quins sectors poden ser els més beneficiats d'aquestes innovacions i donar-los suport. Per exemple, es pot crear un barri o una zona industrial (o fins i tot una autopista o un aeroport) d'emissions zero mitjançant reduccions efectives d'emissions i/o crèdits de compensació que serveixi com a exemple per a altres zones o sectors del país; o sistemes d'organització del treball i del transport molt més sostenibles i menys absurds des del punt de vista ambiental que els que ara utilitzem i intentar traslladar aquests sistemes a contextos més amplis.

Finalment, em referiré al paper de la diversitat en l'adaptació i mitigació del canvi climàtic. Probablement, potenciar, protegir i promoure la diversitat social (cultural i institucional) i biològica sigui una de les estratègies més robustes a llarg termini per poder garantir la resiliència total necessària per abordar el canvi climàtic a escala global. És a dir, la conservació, defensa i promoció de la diversitat podria evitar la pèrdua de coneixements necessaris per a l'adaptació en contextos diversos on aquesta és necessària, així com evitar l'adopció d'estils de vida altament intensius en energia i emissió de gasos d'efecte d'hivernacle que impossibiliten de manera estructural la mitigació. També contribuiria a mantenir les condicions bàsiques que fan possible la qualitat dels ecosistemes i de la vida a llarg termini, així com del funcionament dels embornals necessaris per absorbir la futura contaminació. La conservació i promoció de les diversitats permetria integrar les estratègies de mitigació i adaptació a llarg termini i, a escala global, reduir costos (reals i d'oportunitat, com per exemple, en desforestació) i disminuir riscos innecessaris. Suposa, també, aplicar el principi de precaució de manera àmplia, estenent-lo no sols als sistemes socials, sinó també als naturals.

Així doncs, i recapitulant, els arguments que he desenvolupat són que les majors reduccions en les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle, així com les mesures més efectives d'adaptació, sols poden provenir de canvis en l'organització social. Aquests canvis tenen a veure amb l'organització del temps, l'espai i el treball, de canvis profunds en la generació i aplicació del coneixement, i en la gestió i delegació del poder i en l'assignació de responsabilitats individuals. Calen importants reformes en l'organització del poder i dels sistemes d'institucions i d'informació, com ara el sistema de preus, per exemple, mitjançant reformes en el sistema fiscal. I, en aquest sentit, les ciències socials, malgrat haver estat pràcticament absents dins del discurs científic ambiental dominant, hi

tenen un paper cabdal. Jo sempre dic que el medi ambient no té problemes, els problemes els tenim els humans. Podem intentar fer alguna cosa respecte del canvi climàtic, però les solucions tècniques, tot i ser importants, són del tot insuficients per mitigar i contribuir a l'adaptació al canvi climàtic. A llarg termini, l'única via factible és la de portar a terme una plena transformació social i individual que respecti, conservi i fomenti la diversitat tant cultural com biològica dels sistemes socioambientals dels quals depèn el nostre desenvolupament present i futur.



L'economia del canvi climàtic

Emilio Padilla Rosa

Professor del Departament d'Economia Aplicada. Universitat Autònoma de Barcelona

En aquesta xerrada parlaré dels aspectes econòmics del canvi climàtic, tot discutint les anàlisis econòmiques que s'hi han aplicat i quins problemes presenten. També parlaré de les polítiques de mitigació i de quins instruments econòmics disposem per fer-les efectives.

La intensificació de l'efecte d'hivernacle i el consegüent escalfament del planeta han generat una preocupació mediambiental sense precedents, un interès que s'ha reflectit en nombroses conferències internacionals i en nombrosos projectes científics. Hi ha evidència científica que el canvi climàtic està actualment en marxa. I de fet, cada cop s'acumulen evidències més clares de la importància de l'home com a motor d'aquest canvi. Les principals actuacions antròpiques que han originat el canvi climàtic són les següents: 1) la crema de combustibles fòssils per generar l'energia requerida per la industrialització i per l'expansió en l'ús de l'automòbil, i 2) la desforestació. S'han realitzat molts debats, reunions i conferències sobre canvi climàtic, però les polítiques de mitigació han estat molt tímides. Els científics i els moviments socials estan a l'espera d'accions més decidides. Pel que fa al paper de l'anàlisi econòmica en aquest tema, llevat de notables excepcions com l'informe Stern (2006), els resultats de la major part de les anàlisis convencionals semblen no justificar tanta preocupació, i fins i tot en alguns casos, s'han utilitzat per legitimar i donar una justificació «raonada» a les polítiques de no-control o d'un lleu control de les emissions. Es tracta d'una resposta contradictòria respecte de la preocupació generada en el món científic i en bona part de la societat. Ara analitzarem els postulats dels diversos models econòmics per entendre aquesta manca de coherència.

Abans, però, farem una breu incursió per descriure algunes característiques del canvi climàtic. El canvi climàtic té unes característiques particulars, com el fet que és un problema global que té unes causes globals. A més, els seus efectes són a mitjà i llarg termini; per tant, ateny

generacions diferents de les que causen el problema, amb uns efectes que poden ser irreversibles. En algunes poblacions determinades (per exemple, en petites illes) les conseqüències poden ser catastròfiques. Una altra característica particular del canvi climàtic són les grans incerteses que hi ha a l'hora de descriure el fenomen. Fins i tot, a hores d'ara, encara es discuteix sobre com s'han de mesurar les emissions, qüestió no trivial, ja que hi intervenen molts gasos i alguns d'ells presenten interaccions. Interessa saber com les emissions acaben afectant les concentracions en l'atmosfera i quins són els embornals. Les incerteses són majors respecte a quins seran els impactes en diferents regions i quina serà la magnitud d'aquests. Addicionalment, quan s'intenta donar un valor monetari als impactes, les dificultats i incerteses es multipliquen. També hi ha una gran dificultat per determinar el cost de les mesures de mitigació.

Segons el darrer informe de l'IPCC, la temperatura mitjana de la superfície de la Terra ha augmentat al voltant de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ des de l'any 1861, mentre que la taxa d'escalfament havia estat constant i molt més baixa (a raó de $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ per dècada) fins a les últimes dècades del segle XX. L'IPCC estima que la temperatura mitjana podria augmentar d' $1,4$ a $5,8^{\circ}\text{C}$ entre el 1990 i el final del segle XXI. Aquesta seria una taxa d'escalfament sense precedents en la història de la humanitat, que comportaria canvis i anomalies climàtiques amb forts impactes sobre la natura i el benestar humà.

Com s'ha esmentat al principi, el canvi climàtic és un problema global generat per causes globals, i amb efectes globals. Però no tots els països tenen la mateixa responsabilitat en la generació del problema. Hi ha diferències abismals en les emissions per càpita de diferents països. Si mirem les emissions acumulades al llarg de l'història, els Estats Units i Europa han generat més del 70 % de les emissions de CO_2 relacionades amb l'obtenció d'energia (segons l'informe Stern). Als Estats Units les emissions anuals de CO_2 per càpita derivades de la crema de combustibles fòssils són de prop de 20 tones per habitant, mentre que a l'Àfrica o l'Índia són al voltant d'una tona per habitant. Les diferències en emissions per càpita poden ser degudes a l'eficiència en què s'usa l'energia o a la diferent combinació de fonts energètiques, però el factor fonamental que les explica és la renda per càpita. Hi ha una correlació molt forta entre emissions i renda per càpita.

El canvi climàtic té difícil solució, ja que es donen pocs incentius per a les actuacions de mitigació, tant incentius individuals com de tipus col·lectiu o governamentals. Les conseqüències per a un individu depenen de la contribució global. Això porta que hi hagi pocs incentius individuals per actuar, ja que el que un individu faci té un efecte pràcticament

nul sobre el canvi climàtic. També debilita els incentius a actuar el fet que els efectes els reben les generacions futures. Nosaltres, poques coses podem fer en quant a una mitigació efectiva en els propers vint o trenta anys. A més s'hi sumen les grans incerteses ja comentades. Tots aquests desincentius fan que s'usi l'atmosfera sense tenir en compte les conseqüències de les accions. Això s'anomena *problema de lliure accés*: no hi ha una gestió que restringeixi l'ús de l'atmosfera i tothom en pot fer l'ús que li plagi i aprofitar-se'n tant com es pugui. A més, es dona el problema que els de major responsabilitat en la generació del problema són països que patiran relativament poc els efectes del canvi climàtic. Els que rebran són els països en vies de desenvolupament i les poblacions més pobres. Com que els afectats són diferents dels causants, aquests no tenen incentius per autolimitar-se. Aquestes característiques han dut a grans dificultats a l'hora de prendre acords mundials i a repartir els límits de les emissions.

Els impactes del canvi climàtic

A continuació es descriuen els principals impactes que s'esperen sobre el humans i els ecosistemes, segons el que indiquen els informes de l'IPCC.

Agricultura

El canvi climàtic es farà sentir en l'agricultura, amb reduccions en la producció i un increment dels costos per a l'adaptació al canvi climàtic. Si l'escalfament és lleu es produiran millors collites en algunes zones (com per exemple, les de cereals a latituds mitjanes i altes com Rússia), però si l'escalfament és més gran, aquestes millores també desapareixeran. Hi haurà menys collites a les regions tropicals i subtropicals, i si l'escalfament és gran (4 °C), en algunes regions, incloent-hi bona part d'Àfrica, s'experimentaran reduccions generalitzades de les collites, una situació molt greu, ja que es tracta de zones que actualment pateixen inseguretats alimentàries. Això anirà acompanyat d'un possible augment dels preus dels aliments, i en conseqüència, d'un augment de la població amb risc de fam (principalment a l'Àsia occidental i l'Àfrica).

Recursos hídrics

Es produirà una reducció en la disponibilitat d'aigua en zones on aquesta ja és un bé escàs (per exemple, l'Àfrica), però es poden donar augments en altres zones. A escala regional poden donar-se importants augments o reduccions de la precipitació; per a la Mediterrània, ja és força clar que cal esperar una reducció de les precipitacions. D'altra

banda, hi haurà un augment de la magnitud i freqüència d'inundacions. Associades a la major variabilitat de la pluja, es donaran grans variacions en els cabals dels rius. Les glaceres continuaran desapareixent. S'accentuaran els problemes de disponibilitat d'aigua en països amb estrès hidrològic, com l'Àsia central, el sud d'Àfrica i la Mediterrània, i, a causa de l'escassetat d'aigua, disminuirà la qualitat d'aquest recurs. D'altra banda, a una menor disponibilitat d'aigua s'hi ha d'afegir un augment de la seva demanda per a l'agricultura, que patirà majors pèrdues per evapotranspiració. Tot això provoca una major vulnerabilitat a les regions que pateixen estrès hídric i que tenen sistemes de gestió deficient, i una menor capacitat d'adaptar-se. Es necessitarà una millor gestió de l'aigua.

Ecosistemes i biodiversitat

Hi ha un risc d'extinció d'espècies vulnerables. Un lleuger escalfament podria donar un augment de la producció de fusta, però amb un escalfament major es produirà la pèrdua de gran part del bosc amazònic. També l'escalfament tindrà un fort impacte en els sistemes marins; algunes pesqueries es veuran afectades pels canvis als oceans i els esculls de corall, ja estan evidenciant els efectes del canvi climàtic. D'altra banda, les àrees costaneres tenen més riscos d'inundació i erosió, per l'augment del nivell del mar, i la major freqüència de tempestes d'onatge (vegeu el capítol «La costa catalana i el canvi climàtic», d'Agustín Sánchez-Arcilla, en aquest volum).

Salut

Es produiran problemes especialment greus en les poblacions d'ingressos baixos (sobretot als tròpics i subtròpics), segons les condicions socioeconòmiques i les infraestructures sanitàries. És urgent que els països pobres comencin a aplicar mesures d'adaptació. Els efectes poden ser directes, com inundacions i tempestes i onades de calor, o efectes indirectes, com canvis en els vectors de malalties amb un augment de l'àmbit geogràfic de la malària i el dengue i un augment de la incidència i durada estacional d'altres malalties infeccioses, canvis en la disponibilitat d'aliment, o canvis en la qualitat de l'aigua i de l'aire.

Assentaments humans, energia i indústria

Petites illes, deltes i zones costaneres es veuran fortament afectades. Segons el recent informe Stern (2006), l'augment del nivell del mar, les inundacions i les sequeres podrien fer desplaçar 200 milions de persones que esdevindrien refugiats ambientals. A més, la ràpida urbanització de

zones costaneres fa augmentar els actius exposats. Es poden produir inundacions urbanes quan les infraestructures són deficientes (no necessàriament en països pobres, vegeu Nova Orleans, EUA). Hi haurà una major vulnerabilitat en els assentaments dependents de sectors primaris sensibles al canvi climàtic, com l'agricultura, però no tant per als que tinguin una activitat més diversificada. Es produirà un augment de la demanda d'energia per a refrigeració i aire condicionat i, per contra, una reducció de la demanda per a calefacció.

Impactes extrems

Es produiran efectes sobre les assegurances i els serveis financers. De fet, aquestes companyies han augmentat en els darrers cinquanta anys les despeses per desastres naturals (indemnitzacions donades), tot i que és molt difícil determinar el que procedeix del canvi climàtic i o de les imprudències (com ara construir en zones de risc). Hi haurà una major variabilitat i freqüència d'episodis extrems. Les primes de les assegurances augmentaran, i alguns riscos podran ser no assegurables. El sector es pot trobar amb dificultats per cobrir els riscos als països pobres, on un desastre natural pot significar una pèrdua significativa del seu PIB. L'IPCC diu que un major accés a les assegurances d'aquests països podria millorar la seva capacitat d'adaptació al canvi climàtic.

Pel que hem comentat, sembla clar que el canvi climàtic fa augmentar les desigualtats.

Finalment, també s'ha de considerar la possibilitat d'impactes de gran magnitud, que no es coneix exactament quan es produiran, però que és factible que es produeixin.

Impactes a Espanya

Les dades confirmen que el canvi climàtic ja s'està produint a Espanya: la temperatura mitjana anual ha pujat 0,1 °C per dècada, i han disminuït les precipitacions i el nombre de dies de neu anuals. Hi ha una clara tendència a l'augment de la freqüència i severitat de les onades de calor, i ha pujat el nivell del mar. Espanya i altres països mediterranis estan entre els països d'Europa més vulnerables al canvi climàtic. El major estrès hídric farà disminuir la productivitat de l'agricultura, especialment en terres de secà i pastures, i també afectarà els boscos, fent-los més susceptibles als incendis. A les zones costaneres augmentarà el risc d'erosió, d'inundació i de pèrdua d'aiguamolls. Algunes espècies es veuran amenaçades per la pèrdua dels seus hàbitats. Algunes espècies de fauna i flora es desplaçaran cap al nord o cap a majors altituds.

Els costos poden ser importants en el sector turístic: les temperatures més altes i les onades de calor poden perjudicar el turisme d'estiu (tot i que es podria allargar la temporada), mentre que la menor fiabilitat de les condicions de neu pot tenir efectes negatius en el turisme d'hivern. També l'elevació del nivell del mar far  perillar alguns assentaments turístics situats a cotes molt baixes.

An lisis econòmica dels impactes del canvi climàtic i les polítiques de mitigació: limitacions i controvèrsies

Segons els models econòmics, un escalfament moderat tindrà un petit impacte econòmic als països rics, mentre que les pèrdues augmentaran amb un escalfament major. Els països pobres notaran importants pèrdues a qualsevol nivell d'escalfament. A escala global, els models calculen que el PIB mundial canviar  poc amb petits augments de temperatura, mentre que majors augments dispararan les pèrdues netes. Però, per a qualsevol nivell d'escalfament, sempre hi haurà més habitants del planeta perjudicats que beneficiats.

Els models donen diferents resultats segons els diferents supòsits en què s'han basat per fer els càlculs econòmics del canvi climàtic. Per exemple, segons l'informe Stern, el canvi climàtic produeix un impacte molt fort (una reducció d'un 5 a un 20 % del PIB mundial), i proposa actuacions decidides de mitigació. Però diferents estudis donen valors molt diferents. La majoria d'informes publicats fins al moment calculaven un impacte econòmic del canvi climàtic molt inferior al que don  Stern. Alguns models fins i tot consideraven un possible efecte positiu, amb un increment del PIB. Aquesta variabilitat en les prediccions depèn dels supòsits que es fan en les an lisis, i hi ha una sèrie de models molt esbiaixats en els supòsits.

En el cas de les mesures de la mitigació, hi ha diferents estimacions sobre el seu cost. Tot i que podríem considerar que els costos associats no són tan desfavorables, ja que es calcula que, si s'apliquen mesures de mitigació, el que podria passar  s que es postposi el PIB del 2050 al 2051 (Schelling, 1992), o, en el pitjor dels casos, hi hauria un parell d'anys de retard a aconseguir un impressionant creixement en els nivells d'ingrés per càpita (Azar i Schneider, 2002).

Per tant, fins i tot per als models més pessimistes respecte als costos d'estabilització, el manteniment de les concentracions atmosfèriques a uns nivells que evitin els pitjors impactes del canvi climàtic és compatible amb un augment dels ingressos globals. No obstant això, la major part de les an lisis econòmiques convencionals desenvolupades als anys noran-

ta, entre les quals destaquen els models clima-economia desenvolupats per Nordhaus, consideren que els impactes econòmics d'una política decidida a frenar el canvi climàtic no justifiquen els costos necessaris per al control de les emissions. Aquest resultat ha influït en la política de molts països, com els Estats Units. En contrast, l'informe Stern planteja com a òptimes des del punt de vista econòmic, actuacions decidides i radicals per reduir les emissions, com a mínim d'un 25 % per sota dels actuals l'any 2050, i per sota del 80 % a més llarg termini. Amb aquestes reduccions s'aconseguiria mantenir les concentracions de CO₂ entre 450 i 550 ppm. Així, Stern considera que invertir en aquestes polítiques constitueix una «estratègia pro creixement a llarg termini».

La gran divergència entre els diferents estudis es deu a l'ús de supòsits i de «judicis de valor» diferents. A continuació es comenten alguns dels elements fonamentals de l'anàlisi econòmica convencional que poden ajudar a entendre les divergències entre estudis i a explicar la menor demanda de mitigació que han fet tradicionalment alguns economistes respecte al que s'ha requerit des d'altres disciplines.

El descompte i les generacions futures

L'anàlisi econòmica convencional descompta els fluxos que s'esdevenen en el futur, de manera que el descompte devalua i elimina de l'anàlisi els impactes en un futur distant. Una elevada taxa de descompte afavoreix la recomanació d'una minsa política de mitigació, i viceversa, si disminuïm la taxa de descompte, el futur compta més i, per tant, és més convenient la mitigació. No obstant això, no hi ha acord sobre la taxa de descompte adequada, i diferents estudis apliquen taxes diferents segons raonaments diversos, cosa que porta a diferents recomanacions de mitigació.

Hi ha diversos arguments per justificar el descompte, així com crítiques a aquests arguments. Un dels arguments utilitzats és el de la *preferència temporal* (preferim consumir ara que en el futur), de manera que, a una cosa que es produirà en el futur li donem menys importància relativa comparada a si es dona en el present. Per a molts autors, no es justifica aplicar el descompte per aquest motiu quan els impactes recauen en altres generacions. Un altre supòsit que es fa servir per justificar el descompte és la creença que en el futur els individus seran més rics i, per tant, valoraran menys un euro que en el present: és el que es coneix com l'argument de la «*utilitat marginal decreixent*». Però els països més responsables del canvi climàtic són els països rics, mentre que els que en rebran les conseqüències són els països pobres. Cal posar en dubte que els pobres del futur estiguin en més bones condicions que els rics

del present, fet que debilita l'argument de descomptar el futur per la seva suposada menor utilitat marginal del consum, sobretot si, a sobre, el canvi climàtic provoca efectes devastadors. Llavors, no es justificaria l'aplicació del descompte per aquest motiu. Els estudis mostren que la mitigació del canvi climàtic implicaria que el nivell de vida dels països pobres no es deteriori. Precisament, a l'informe Stern, quan s'incorpora una ponderació que té en compte la diferent utilitat marginal del consum per motiu de renda (és a dir, ponderant més els pobres), això porta a una major valoració dels danys del canvi climàtic (de fins a un 20 % del PIB anual).

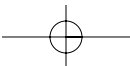
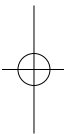
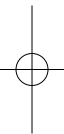
L'anàlisi cost-benefici convencional es basa en el *criteri de compensació*, segons el qual es considera que els guanys dels uns compensen les pèrdues dels altres. Si el valor present dels beneficis és més gran que el dels costos, llavors s'assumeix que, en teoria, els qui guanyen podrien compensar els qui perden, amb la qual cosa millorarien tots respecte de la seva situació inicial. El criteri només requereix que el càlcul monetari global dels beneficis sigui major que el dels costos, i és irrellevant per al resultat de l'anàlisi que la compensació es faci efectiva o no. Però aquest criteri aplicat al canvi climàtic té seriosos problemes de legitimació, pel fet que assumir que fer el mal es pot compensar fent el bé suposa un controvertit judici de valor. En decisions que afecten els drets elementals, com el manteniment de les condicions bàsiques per a la vida de generacions futures, no s'hauria d'acceptar el criteri de compensació. D'altra banda, el criteri de compensació en l'anàlisi cost-benefici convencional implica posar un preu a les vides humanes. Per exemple, en els treballs per a l'elaboració del segon informe de l'IPCC, es va donar un valor monetari a una mort en un país ric que era 15 vegades superior al d'una mort en un país pobre. Sembla clar que aquestes valoracions impliquen uns judicis de valor, que sempre seran controvertits, en relació amb la possibilitat i el mètode correcte de fer-les.

Resumint, la postura de l'anàlisi econòmica ortodoxa és l'assumpció que la Terra pertany als qui tenen capacitat econòmica en el present, incloent-hi el dret a destruir-la, si és rendible. A més, en general, s'ha tendit a assumir supòsits optimistes respecte als impactes del canvi climàtic i pessimistes respecte a l'esforç que suposa la mitigació, cosa que ha fet tendir aquests estudis cap a la recomanació d'una minsa actuació contra el canvi climàtic. Un exemple d'aquests supòsits és la conjectura que, fins i tot si no es controlés, hi hauria un sostre natural a les emissions, i després aquestes disminuirien com a conseqüència del mateix creixement econòmic. També, en general, tots els models tenen una percepció molt positiva sobre el manteniment del creixement econòmic continuat. Per

tant, els resultats dels models es poden basar en supòsits fortament esbiaixats, supòsits sobre els quals no sempre és possible determinar científicament què és més correcte.

Enfront de la visió de l'economia ortodoxa, segons la qual només compta la capacitat de demanda dels individus als mercats, calen noves aproximacions en l'anàlisi econòmica que incorporin el requisit de sostenibilitat. Cal canviar l'aproximació tradicional dels models econòmics per incorporar el fet que el desenvolupament actual ha de ser limitat a no usar els recursos de manera que perjudiquin les oportunitats del futur. En aquest sentit, cal qüestionar-se que els càlculs de les variacions en el PIB descomptat en el present puguin ser la mesura més adequada per decidir si és convenient o no prendre accions per evitar els problemes que es podrien evitar amb una política més decidida de mitigació.

Possiblement, com afirmen l'informe Stern i l'IPCC, encara estiguem a temps d'evitar els pitjors riscos del canvi climàtic, que podrien ser catastròfics. Si bé els esforços econòmics per mitigar-lo no són petits, constitueixen un cost raonable per «assegurar-nos» contra els seus pitjors efectes i evitar, així, els riscos d'uns impactes catastròfics per a les generacions futures.



Què podem fer des de casa per combatre el canvi climàtic?

Jordi Miralles

President de la Fundació Terra

El canvi climàtic és una realitat que ja no neguen els estaments científics. Informes de la Unió Europea assenyalen que, per a l'horitzó 2025, el deteriorament ambiental pot ser catastròfic. Si continua la tendència actual, la població passarà dels 6.400 milions actuals a 7.900 milions el 2025. Fins i tot polítics conservadors com Al Gore assenyalen que el canvi climàtic és el pitjor enemic de la humanitat, per davant del terrorisme global.

El consum energètic dels nostres habitatges és responsable d'un 7 % de les emissions a l'atmosfera, i en els últims 30 anys aquest consum ha augmentat un 40 %. Només l'energia en il·luminació consumeix el 19 % de la producció global d'energia elèctrica. Les bombetes incandescent inventades per Thomas Edison fa 120 anys (que només converteixen en llum el 5 % de l'energia que consumeixen) representen encara avui el 80 % de les vendes de bombetes. Per contra, només és minoritari l'ús de bombetes de baix consum, tot i que gasten quatre vegades menys per la mateixa quantitat de llum i duren prop de deu vegades més, o les lluminàries de LED que poden reduir per vuit el consum en il·luminació i duren prop de cent vegades més respecte a les incandescents. D'altra banda, el 28 % dels gasos contaminants provenen dels nostres vehicles, i el transport és responsable de prop del 25 % del diòxid de carboni (CO₂) generat amb un ritme de vida normal. Des del 1990, el parc automobilístic a l'Estat espanyol ha crescut un 45 % i ja tenim una mitjana d'1,4 cotxes per habitant. A més, cada any 16.000 espanyols moren per causes relacionades amb la mala qualitat de l'aire a les ciutats, tres vegades més que les produïdes per accidents de trànsit.

Estalviar energia no sols repercuteix en un millor ambient, sinó que també és més econòmic per a les nostres butxaques. Però hi ha molts altres gestos que estalvien energia i són més eficients. Desplaçar-se en bicicleta en distàncies curtes, adquirir electrodomèstics eficients o instal·lar

energies renovables a casa són algunes de les possibilitats a l'abast de tots sense gaire esforç. Però encara n'hi ha més.

El món que llegarem als nostres fills, si continuen les tendències actuals, no serà gens saludable. Perquè és evident que estimem els nostres, us proposem que amb ells compartim una imatge simpàtica. Al capdavant ser positius ens fa sentir bé i invertir en eficiència energètica, estalvi d'energia i energies renovables és la millor fórmula per lluitar contra el canvi climàtic. Tenim, doncs, deu mil raons per lluitar contra el canvi climàtic i cap per no fer-ho, perquè tots i cada un de nosaltres podem fer que la nostra vida quotidiana sigui més respectuosa amb el medi ambient. Viure amb menys CO₂ no és una experiència complicada i fins i tot pot ser plaent.

Nous valors per fer front al canvi climàtic

No creiem que calgui allisonar ningú, perquè cada un de nosaltres, amb el nostre estil de vida, som el millor exemple del que no fem bé. Un món en el qual el 20 % de la humanitat consumeix el 80 % dels recursos és evident que no és just ni saludable. Un món que consumeix l'equivalent a la capacitat bioproductiva de quatre planetes només ho pot fer consumint els recursos de les futures generacions. I finalment, ara comencem a entreveure els efectes d'aquesta orgia planetària en la qual uns 1.000 milions d'humans ens hem instal·lat des de fa vora d'un segle. Ha arribat l'hora de posar seny i per això el conjunt de la societat ha de posar fre al consumisme o al model socioeconòmic capitalista, que basa el seu funcionament en el creixement continuat. Està clar que aquest creixement no és factible.

Alguns economistes com Nicholas Georgescu-Roegen plantegen que hem de decreixre si volem fer front al futur. Altres experts assenyalen que l'economia només pot sobreviure si deixa el consumisme i es fonamenta en els serveis. Les persones no necessitem «rentadores», el que necessitem és «rentar» la roba. El lísing de béns i serveis és l'únic sistema per continuar innovant i progressant i reduir la demanda de recursos naturals. Però, sobretot, també cal reduir l'actual creixement poblacional. Les dades que aporten els ecòlegs experts en l'indicador de la petjada ecològica no deixen lloc al dubte en el sentit que incrementar la població vol dir reduir el nombre d'hectàrees bioproductives del planeta per càpita i, per tant, porten a començar a malviure o a consumir els recursos del futur. La mitjana de la petjada ecològica a Catalunya és de 4 hectàrees/habitant/any, mentre que la mitjana mundial no arriba a les 2 hectàrees/habitant/any i, és clar, la dels Estats Units és de més 9 hectàrees/habitant/any!

La nostra travessa com a civilització embarcada en un *Titanic* luxós i ben engreixat ha albirat el seu particular iceberg quan anem a tota potència. Ara mateix, el problema no és només si podem aturar els motors, sinó si el vaixell podrà virar, tot i «reinvertir a màxima potència» la marxa que portem. Amb els motors ja reinvertits, tot i així, mentre el vaixell llisca per la inèrcia no ens hem de quedar de braços plegats. Disposem de la tecnologia per viure de manera molt més eficient. Disposem del coneixement per fabricar productes reciclables i que puguin ser fàcilment reparables i no esdevinguin residus perillosos. Disposem d'energies renovables per viure amb auster confort. Ens cal fer realitat un nou estil de vida basat precisament en la simplicitat i l'austeritat; en el compartir i en la solidaritat. També podem assajar un bon nombre de comportaments que poden estalviar per ells mateixos el 50 % de l'energia que consumim a casa nostra. Lògicament, ens queda molt per fer com a societat, però el primer pas l'hem de fer a casa, perquè serveixi de motivació a la nostra mainada. El darrer pas és educar en nous valors basats en una ètica socioambiental. En altres paraules, o assumim que som part de la natura o no serem. L'actual egocentrisme ens ha portat ja a les envistes del canvi climàtic. No tenim la certesa de com s'expressarà, però sí que sabem que l'increment de CO₂ va correlacionat amb l'augment de la temperatura, tal com ho avalen les mesures dels darrers 600.000 anys en l'anàlisi de l'aire capturat pels gels antàrtics. Això pot comportar canvis que condueixin a molt patiment per a la nostra espècie i per als ecosistemes en general. Tampoc no podem oblidar que la nostra civilització és l'aportació de cadascun de nosaltres. I per això els petits canvis són poderosos (encara que els grups de poder afirmen que no hi tenim res a fer).

Els gestos ambientals que podem fer

La Fundació Terra ha posat en marxa un tapís digital al web (www.terra.org) que pretén recollir en imatges fotogràfiques gestos ciutadans contra el canvi climàtic. L'objectiu d'aquest tapís d'imatges (hi ha espai per a 10.000 imatges) és compartir la inquietud creixent que no ens podem quedar de braços creuats. En el marc d'aquesta campanya, la Fundació Terra proposa vuit coses senzilles o gestos que tots podem fer, la suma dels quals en un habitatge pot comportar un estalvi de fins al 50 % de l'energia. Està clar, tanmateix, que hi ha altres comportaments, com ara invertir en energies renovables, estalviar aigua, viatjar menys o no sobrepassar els 90 km/h anant en cotxe. Els gestos concrets que es promouen amb aquesta campanya són:

1) Il·luminació de baix consum. Substituir bombetes incandescent i halògenes per bombetes fluorescents compactes o de LEDS.

2) Aparells energèticament eficients. Adquirir aparells elèctrics que no malversin energia, com els anomenats energèticament de Classe A, A+, A++ o que compleixin altres criteris d'estalvi com Energy Star, etc.

3) Tria i selecció de la brossa de casa. Recollir selectivament les escombraries i portar les fraccions com ara paper, envasos o matèria orgànica al contenidor corresponent i la resta de valoritzables a la deixalleria estalvia energia i contaminació.

4) Climatització de baix consum. Seleccionar el termòstat de la climatització a l'estiu a 26 °C i a l'hivern a 20 °C, i utilitzar aparells de baix consum com ara les bombes de calor tipus *inverter*.

5) Moure's en bicicleta o transports col·lectius. Per a recorreguts de menys de 3 km la bicicleta és el sistema de locomoció més eficient. Els transports col·lectius redueixen quatre vegades les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

6) Conduir eficientment. Canviar de marxa per sota de les 2.500 revolucions en els vehicles de gasolina i per sota de les 2.000 en els de gasoil pot estalviar un 35 % de combustible.

7) Consum local. Avui el 40 % de les emissions són per causa del transport de mercaderies per tot el món. Cada vegada que comprem al barri o comprem productes produïts localment (fruita de comarques veïnes en comptes d'altres països, carn d'aquí en comptes d'Irlanda o Argentina) estalviem en emissions d'efecte d'hivernacle.

8) Habitatges aïllats. Finestres i portes poden aportar pèrdues importants de climatització si no estan ben aïllades. El doble vidre a les finestres i l'aïllament a les caixes de les persianes poden reduir la factura energètica.

Ben segur que el món escolar podria animar els nois i les noies a retratar les coses que ja es fan ben fetes o amb les quals ens apliquem per reduir la despesa energètica i de recursos naturals. Una imatge escasent a vegades val més que mil paraules. És només una idea per no oblidar que tots nosaltres som la solució.

Biodiversitat marina antàrtica: reptes, sorpreses i canvi climàtic

Josep Maria Gili

Investigador del CSIC a l'Institut de Ciències del Mar

Presentaré un relat sobre la biodiversitat antàrtica basat en resultats molt recents, alguns d'ells fins i tot inèdits en aquests moments. L'Antàrtida és com una caixa de sorpreses. Recentment, hi hem fet noves troballes, i encara creiem que ens reserva una sèrie de secrets i sorpreses amagades. D'altra banda, una xerrada com aquesta és pertinent enguany en què se celebra l'Any Polar Internacional. Aquest reconeixement representa alhora l'oportunitat d'unir els esforços científics de molts països per avançar en el coneixement del funcionament polar, i la possibilitat de mostrar la dinàmica dels pols al món. Concretament, constitueix una oportunitat per estudiar aspectes com el clima polar, la circulació marina circumpolar o la biodiversitat.

Mirat el planeta Terra des de l'espai, el considerem normalment com el planeta blau, i així se l'anomena usualment. Però si accedíssim a una vista des del pol sud, el que veuríem seria una esfera blanca, i caldria anomenar-lo, aleshores, planeta blanc. Aquesta massa blanca la constitueix el gel antàrtic. Durant l'estiu, el continent antàrtic té una superfície de 15 milions de km² i un gruix mitjà de 4,5 km. Però, durant l'hivern, el mar adjacent es congela formant una banquisa que fa que la superfície gelada total arribi fins a uns 30 milions de km², formant l'esfera blanca que esmentàvem. Això porta a un fenomen molt important. Fins ara s'havia dit que l'estructura marina viva més gran de la Terra que es podia veure des de l'espai era la barrera d'esculls coral·lins d'Austràlia. No obstant això, ara sabem que el gel marí de l'Antàrtida és un candidat a prendre-li la primera posició, i ara explicaré per què.

L'Antàrtida es considera un dels sistemes més inhòspits del planeta: és un desert gelat, on cauen menys de 50 mm de precipitació l'any, una quantitat similar a la que cau al Sàhara. Ara bé, a l'Antàrtida, tota l'aigua que cau queda emmagatzemada en forma de gel. Per sota d'aquesta massa de gel, s'havia cregut que pràcticament no hi havia vida, ateses

les duríssimes condicions adverses. Però això no és així, cosa que molt bé sabien els caçadors de balenes. Però, com poden sostenir-se les balenes en un ambient tan inhòspit?

El paradigma científic fins ara era que la biodiversitat del planeta és màxima a l'equador i va disminuint cap als pols. Caldria esperar, doncs, que el fons marí de l'Antàrtida fos una superfície estèril. Però fa uns 25 anys es va començar a descobrir que els fons marins de l'alta Antàrtida contenen una gran biodiversitat i biomassa. Es va veure que les plataformes continentals, a uns 50-100 m de fondària, eren catifes cobertes d'organismes, amb una gran biomassa i una biodiversitat extraordinària. Fou una gran sorpresa, i arran d'aquest descobriment es va encetar una línia prioritària de recerca per comprendre els mecanismes que expliquen una diversitat tan elevada sota un desert glaçat. A més, aquesta característica és específica de l'Antàrtida, no compartida per l'Àrtic, que té una diversitat d'un ordre de magnitud inferior.

A l'Antàrtida s'hi troben quasi tots els grups marins descrits al planeta. A més, moltes de les espècies són endèmiques. Per exemple, de 200 espècies de peixos, el 90 % es troben només a l'Antàrtida. Altres característiques dels organismes antàrtics són que la seva mida és molt més gran que l'habitual, que són espècies molt longeves i que tenen un metabolisme molt lent i, per tant, consumeixen poc oxigen. Moltes espècies polars no es reproduïxen cada any, sinó que triguen 2-3 anys a fer l'ovogènesi. També hi té molta importància la reproducció asexual. En resum, es tracta d'un sistema on tot va molt lent. Però, perquè hi hagi molta diversitat, hi ha d'haver un flux genètic elevat, és a dir, una alta reproducció. Com ens expliquem, doncs, aquesta elevadíssima biodiversitat en un sistema genèticament tan parsimoniós? Tenim dues aproximacions, l'explicació ecològica i l'evolutiva.

Explicació ecològica de l'alta biodiversitat

L'aproximació ecològica considera les característiques del medi ambient i, per tant, se centra a estudiar el desert de gel, aquests aproximadament 18.000 km² de banquisa marina que es van fonent contínuament. En una imatge des de satèl·lit es veu que hi ha unes zones d'elevada concentració de clorofil·la al voltant de la zona de la fusió del gel. S'ha vist que durant el desgel antàrtic, la producció primària de l'Antàrtida és la més gran del planeta.

Com pot una capa glaçada ser tan productiva? S'ha vist que el gel és blanc per sobre, però per sota apareix com d'un color terrós, marronós. Això és conseqüència de la presència de vida dins del gel. Examinant al

microscopi una làmina de gel marí, es poden observar multitud de cadenes formades per diatomees. Aquestes diatomees viuen en forats, canals i caveres d'aigua líquida que perforen el gel. Allí hi queden atrapades durant els sis mesos hivernals. Durant aquest període, la llum hi arriba, i això permet fer fotosíntesi, cosa que dóna lloc al desenvolupament de tota una comunitat microscòpica formada per algues i bacteris, una comunitat microbiana molt rica. Les microalgues van acumulant lípids essencials per no congelar-se, de manera que durant sis mesos estan engreixant-se. Quan el gel es fon, aquestes microalgues queden alliberades i comencen a reproduir-se de manera exponencial, afavorides per la disponibilitat de llum durant tot el dia, i aprofitant els nutrients acumulats sota el gel durant aquests sis mesos. L'abundància d'aquesta producció primària sosté una elevadíssima producció de *krill*. El *krill* pot estar-se dos mesos sense menjar, però quan el gel es desfà, i gràcies a l'abundància d'aliment, es reproduceix molt ràpidament: per exemple, una femella de *krill* en cinc setmanes del desgel produeix de 8.000 a 10.000 ous. I, com se sap prou bé, el *krill* constitueix la base tròfica de les balenes. Així que aquest mecanisme tròfic explica l'existència de balenes als mars antàrtics.

Però la gran biodiversitat de l'Antàrtida no es dóna en la gran fauna, com les balenes, foques o pingüins, sinó que és la dels fons marins. I aquesta gran biodiversitat bentònica està, també, alimentada pel *krill*. El *krill* menja molt, però el 50 % de la ingesta l'excreta en paquets fecals que van al fons marí proporcionant una abundant pluja de matèria orgànica als organismes del bentos. L'Antàrtida es caracteritza també per estar periòdicament batuda per vents molt forts, unes tempestes terribles. Aquestes tempestes agiten la superfície del mar i acceleren la caiguda de cadenes d'algues cap al fons. Hem pres imatges del fons marí que ens mostren com, després d'una d'aquestes tempestes, es veuen catifes verdes cobrint el fons marí amb una fondària de 10 cm de matèria orgànica fresca, carregada de lípids, i freda, no descomposta. Aquest material es diposita principalment durant la primavera i, al cap de pocs mesos, ja s'ha consumit tot. Els organismes bentònics no han de fer res per buscar l'aliment, tan sols esperar que els corrents del fons els portin les partícules: els arriba un aliment molt ric, en gran quantitat, i no han de fer cap despesa per aconseguir-lo. El mateix ecosistema antàrtic nodreix d'aliment constant i molt ric tota la fauna del fons, malgrat que en la columna hi ha un cert filtratge per part del zooplàncton. El que s'excreta a la zona bentònica és arrossegat posteriorment cap a la superfície per corrents ascendents, tancant un cicle de nutrients que recomençarà amb l'explosió algal en el desgel. Es tracta d'un cicle d'acoblament entre el que

passa a la capa del gel marí i el que ocorre al fons. I, tal com dèiem al principi, podem dir que el gel és viu, animat per una comunitat d'algues microscòpiques, i així, es tractaria, per tant, de l'estructura viva marina més gran del planeta.

Explicació evolutiva de l'alta biodiversitat

Per donar una explicació evolutiva de la biodiversitat cal fer primer una mica d'història de l'Antàrtida. L'Antàrtida oriental (més del 75 % del continent) prové d'un fragment de l'antic continent de Gondwana. Al voltant de fa 30 milions d'anys, l'Antàrtida es va situar on és ara, i es va obrir el canal de Drake, que la va separar de la resta de massa que va constituir Austràlia. Això va fer possible la instauració dels corrents circumpolars, els quals van accentuar el refredament. El continent, que era tropical (encara hi ha sequoies en capes geològiques profundes de l'Antàrtida), es va començar a gelar. Els corrents marins circumpolars, molt potents i movent-se a gran velocitat (corrents de $150 \text{ milions m}^3\text{s}^{-1}$), van aïllar parcialment l'Antàrtida de la resta del planeta durant tot aquest temps. A més, la temperatura de l'Antàrtida no va variar durant els darrers 30 milions d'anys, amb una temperatura per sota de zero que no permet el desenvolupament de rius. A finals del Fanerozoic, els rius que fendien el planeta van començar a fertilitzar els fons marins arreu, aportant nutrients i sediments. Però, mentre que els nutrients afavoreixen el creixement dels organismes, els sediments molt sovint constitueixen un impediment per el seu desenvolupament. A l'Antàrtida no hi va haver aportació de sediments a causa de la manca d'aportació fluvial, mentre que l'aportació de nutrients funcionava pel mecanisme suau esmentat. Aquest fet ha permès la persistència d'una rica fauna marina bentònica.

Si així va ser en el passat, actualment, per contra, amb el canvi climàtic present, l'acceleració de la fusió de les glaceres podria aportar sediments que malmetrien les comunitats, mal adaptades a aquestes aportacions. Això podria constituir un dels riscos més importants del canvi climàtic a l'Antàrtida.

L'Antàrtida i el planeta

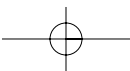
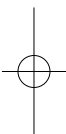
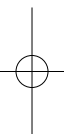
Els ecosistemes antàrtics tenen un paper molt important en la dinàmica global del planeta, com, per exemple, en la regulació climàtica del planeta derivada de la circulació termohalina. L'aigua marina profunda de la circulació termohalina, que circula a 1.000 m de fondària, es forma

als pols, on l'aigua freda i densa s'enfonsa per impulsar el corrent termohalí.

D'altra banda i tal com hem vist, l'Antàrtida presenta una elevadíssima diversitat. Se sap que, en les grans extincions del Cretaci, les faunes antàrtiques van ajudar a recolonitzar les que es van extingir a la resta del planeta. Hi ha una connexió entre la fauna marina bentònica de nova Caledònia, Austràlia, o l'Índia amb la fauna antàrtica.

I finalment, una especulació: podria haver-se originat la vida a l'Antàrtida?

El liquenòleg Leopoldo García Sancho, de Madrid, va fer recentment un experiment amb l'ESA (Agència Espacial Europea) consistent a enviar a l'espai uns líquens de l'Antàrtida. Durant tres setmanes aquests líquens van estar navegant per l'espai exposats a la llum ultraviolada. En tornar a la Terra, el liquenòleg va veure que els líquens estaven vius. A més, a les poques setmanes d'aterrar, els líquens viatgers es van reproduir. Hi ha estudis que diuen que els meteorits que han travessat l'atmosfera provenint d'altres astres podrien haver portat vida a la Terra. Si els líquens de l'Antàrtida que han viatjat per l'espai s'han reproduït en tornar a la Terra, per què no pensar que un meteorit va portar una gran massa gelada que contenia material genètic, el germen de la vida? L'Antàrtida avui dia està fent replantejar la bella teoria de la Panspèrmia, que postula que part de la vida de la Terra va venir de l'espai. Es tracta d'una especulació, però la veritat és que l'Antàrtida ens ha donat moltes sorpreses, i està amagant molt secrets. I creiem que podria explicar-nos coses tan importants com l'origen de la vida al planeta. El gel marí, que és essencial per mantenir una diversitat excepcional al planeta, podria donar-nos també una explicació a l'origen de la vida al planeta.



Oceans, els grans segrestadors de CO₂

Eva Calvo

Investigadora del CSIC a l'Institut de Ciències del Mar

Els oceans tenien una funció vital en la modulació i regulació del clima del planeta, especialment pel seu important paper com a segrestadors de diòxid de carboni, les concentracions del qual han augmentat de manera considerable a l'atmosfera com a conseqüència de l'activitat humana. El concepte de canvi climàtic associat a l'activitat antropogènica no és del tot nou. Ja el 1824, Joseph Fourier va introduir el concepte d'efecte d'hivernacle, segons el qual la Terra emetia radiació infraroja, una part de la qual era retinguda per l'atmosfera. L'any 1859, John Tyndall va determinar que l'existència d'alguns gasos (com el CO₂ i el H₂O) feia que la Terra absorbís aquesta radiació infraroja, i fou el primer a formular la possibilitat d'un canvi climàtic provocat per un canvi en la concentració d'aquests gasos. Unes dècades més tard, l'any 1896, Svante Arrhenius publicà els primers càlculs sobre canvi climàtic degut a les emissions antropogèniques de CO₂. Arrhenius calculà que un augment d'un 50 % en la concentració de CO₂ atmosfèric provocaria un augment de la temperatura de 5 °C, però pensava que trigarien segles, fins i tot mil·lennis, a arribar a concentracions tan elevades de CO₂, ja que aleshores es creia que els oceans serien capaços d'absorbir tot el CO₂ derivat de les activitats humanes. Ja al segle XX, l'any 1938, Guy S. Callendar va concloure que l'augment de 0,5 °C que s'estava observant en algunes zones del planeta era conseqüència de les emissions de CO₂. En aquell moment no se li va fer gaire cas, ja que no demostrava que el CO₂ estigués augmentant i, a més, no es creia que la relativa petita concentració de CO₂ a l'atmosfera pogués ser important per al balanç energètic del planeta. L'any 1954, Gilbert Plass va realitzar uns càlculs més sofisticats sobre l'absorció de la radiació infraroja, amb la qual cosa va determinar el gran efecte de la concentració de CO₂ sobre la temperatura del planeta. Encara ens quedava pendent, això no obstant, saber si el CO₂ s'acumulava a l'atmosfera o no. Finalment, a finals

dels anys cinquanta, Roger Revelle determinà que tan sols una part de les emissions de CO_2 són absorbides pels oceans i, el 1960, Charles D. Keeling constatà, a partir de mesures acurades de la concentració de CO_2 atmosfèric, que, efectivament, aquesta augmenta any rere any. Aquestes mesures es continuen fent avui dia a l'Observatori de Mauna Loa, Hawaii, i representen l'exemple més clar de l'empremta que els humans estem deixant en el planeta (Figura 1).

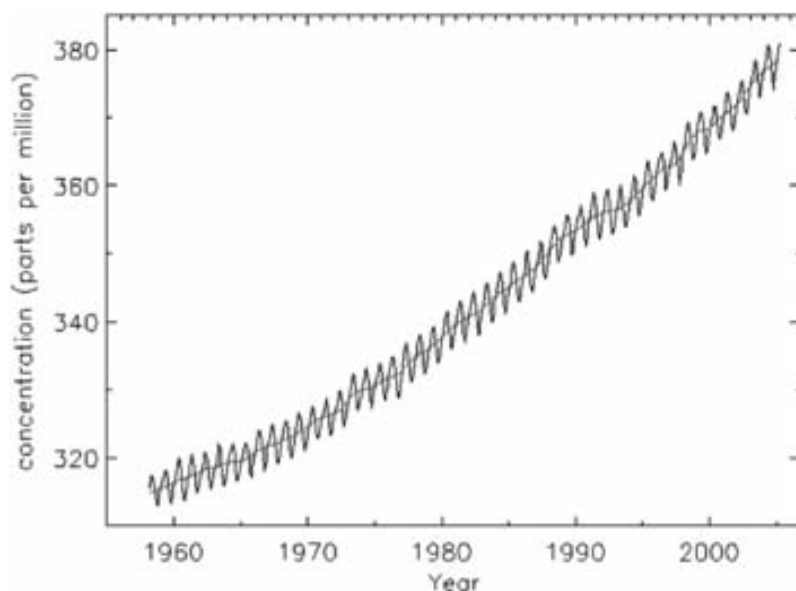


Figura 1. «Corba de Keeling». Evolució del CO_2 atmosfèric dels darrers 50 anys determinada a l'Observatori de Mauna Loa, Hawaii.

Quin és, doncs, als nostres dies, l'impacte d'aquest augment en la concentració de CO_2 ? En el quart informe de l'IPCC (2007) es conclou que «l'escalfament del sistema climàtic és inequívoc i, molt probablement, degut a les activitats humanes». Aquest informe representa el consens de més de 1200 experts i ha estat revisat per 2500 científics de fins a 130 països. Alguns dels senyals més clars del canvi climàtic són: 1) un augment de la temperatura mitjana global de $0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2) un augment del nivell del mar de 17 cm; 3) una disminució de la coberta de neu i de l'extensió de les glaceres; 4) un augment en la freqüència, intensitat i extensió d'esdeveniments climàtics extrems, com sequeres i ciclons

tropicals, i 5) una reducció del pH superficial de 0,1 unitats. I tots aquests canvis vénen determinats per l'increment dels gasos d'efecte d'hivernacle a l'atmosfera, en particular del CO₂. Per tant, la magnitud i velocitat dels canvis climàtics futurs dependrà, en bona mesura, de l'evolució de la concentració del CO₂ atmosfèric. Del que no hi ha dubte és que, per tal d'estabilitzar el clima, hem d'estabilitzar el CO₂ a l'atmosfera i això requereix reduir-ne les emissions.

L'evolució del CO₂ atmosfèric

La «corba de Keeling» mostra un augment de la concentració atmosfèrica de CO₂ d'uns 310 ppm l'any 1956 a les 380 ppm de l'actualitat. En els últims 25 anys, això representa un augment d'1,6 ppm de CO₂ per any, però la velocitat de canvi encara s'accelera més: en el període 2000-2006 aquest augment fou d'1,9 ppm CO₂/any.

Si ara volem anar més enrere en el temps, hem d'anar a buscar els testimonis de gel de l'Antàrtida i estudiar la composició de les bombolles d'aire que van quedar atrapades en el moment de formació d'aquest gel. A l'Antàrtida s'han obtingut testimonis de gel de més de 3000 m de fondària, que permeten reconstruir l'evolució de la concentració dels gasos durant els darrers 800.000 anys. Les concentracions de CO₂ en el passat geològic van oscil·lar entre 180 i 280 ppm, amb uns cicles d'alternança entre èpoques glacials i interglacials. Les concentracions actuals de CO₂ atmosfèric són del voltant de 380 ppm i, per tant, molt superiors a les experimentades durant els darrers centenars de milers d'anys. Més preocupant que aquest valor absolut és la velocitat a la qual aquesta concentració està augmentat. L'increment de CO₂ a l'atmosfera entre un període glacial i un d'interglacial era de 0,01 ppm/any, mentre que la taxa actual és d'1,9 ppm/any i, per tant, dos ordres de magnitud més ràpid, cosa que indica la gran acceleració dels canvis actuals.

Els testimonis de gel també han permès constatar que la temperatura varia en paral·lel a les concentracions de CO₂, i així s'ha pogut establir, de manera inequívoca, l'estret vincle entre el clima de la Terra i les variacions de CO₂.

El cicle oceànic del carboni. Mecanismes reguladors del CO₂ atmosfèric

Cada any els humans introduïm 8 Pg (P = peta = 10¹⁵, és a dir, 8 mil milions de tones) de carboni a l'atmosfera (en el període 2000 – 2006 fou de 9,1 Pg/any). D'aquests, 6,5 Pg corresponen a emissions per la

crema de combustibles fòssils i uns 1,5 Pg, a la desforestació. D'aquests 8 Pg emesos, només 3,2 Pg s'acumulen a l'atmosfera. Aleshores ens preguntem: on és la resta? Doncs, com que el balanç ha de quedar tancat, els 5 Pg restants han de ser absorbits pels oceans i els ecosistemes terrestres.

Els oceans tenen una gran importància en el procés d'emmagatzematge de CO_2 atmosfèric. Els oceans han passat d'estar pràcticament en equilibri amb l'atmosfera durant l'època preindustrial a ser actualment uns captadors nets de CO_2 . A més, gran part de tot el carboni del planeta es troba com a carboni inorgànic dissolt a les capes intermèdies i profundes de l'oceà, on s'han calculat uns reservoris de 37.000 Pg de C (unes 16 vegades més que a la biosfera terrestre, i unes 60 vegades més que a l'atmosfera).

Però, com regula l'oceà la concentració atmosfèrica del CO_2 ? Quins processos participen en la reducció d'aquest CO_2 ? L'intercanvi de CO_2 entre atmosfera i oceà té lloc a través d'una sèrie de processos físics, químics i biològics que resumeixo a continuació.

Bomba física o de solubilitat

Es tracta de la transferència de CO_2 des de la superfície fins a l'interior del mar en funció de la solubilitat del gas i la formació d'aigües profundes. Cal tenir en compte que la solubilitat de qualsevol gas és més gran en aigües fredes que en càlides. Pel que fa a la formació d'aigües profundes, primer hem d'entendre com funciona el sistema de circulació termohalina. Per explicar de manera molt simple què és la circulació termohalina ens hem d'imaginar el planeta com si estigués recorregut per una gran cinta transportadora que enllaça tots els oceans i redistribueix la calor de latituds equatorials a latituds més altes. Les aigües càlides i salines procedents del Carib són transportades cap a l'Atlàntic Nord on, en contactar amb les masses d'aire fred de l'Àrtic, es refreden, augmenten la seva densitat i quan arriben als mars de Groenlàndia i Noruega s'enfonsen i viatgen en fondària fins a arribar a l'Antàrtida. Allí es distribueixen cap als oceans Pacífic i Índic, on, circulant en superfície, tomben per Sud-àfrica per retornar cap a l'Atlàntic i així tancar el cicle. És important el fet que l'aigua superficial s'enfonsa només en uns llocs molt específics de les latituds altes de l'oceà (a l'Atlàntic Nord i a l'Antàrtida), a causa de l'augment de la seva densitat en aquests punts. Quan les aigües fredes i, per tant, riques en CO_2 , s'enfonsen, es retira una gran quantitat de CO_2 que està en superfície i que és transportat a les capes més profundes de l'oceà, on romandrà durant segles, fins i tot mil·lennis.

Bomba biològica

Aquí tenim dos processos que actuen en sentit contrari. Primer, tenim la fixació de C pels organismes marins a través de la fotosíntesi i, després, la transferència del material orgànic al fons del mar. Part de la matèria orgànica generada en superfície, no obstant això, és consumida pel zooplàncton o bé degradada pels bacteris i, per tant, només la matèria orgànica que s'escapa d'aquesta degradació i arriba a capes més profundes és realment efectiva a retirar CO₂ atmosfèric a escales llargues de temps. La matèria orgànica que arriba al sediment pot quedar aïllada de l'atmosfera durant centenars de milers d'anys

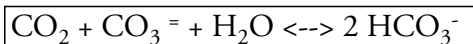
D'altra banda, la bomba del carbonat actua en sentit contrari, ja que s'allibera CO₂ durant la precipitació d'esquelets carbonatats per part d'alguns organismes marins. Per exemple, les algues coccolitoforals (com l'*Emiliana huxleyi*, principal responsable de la producció primària del oceans) formen unes plaques carbonatades (els coccòlits). L'alga també fixa CO₂ en la fotosíntesi, però, d'altra banda, per formar aquesta closca carbonatada, allibera CO₂. Les diatomees, en canvi, fixen CO₂ per formar matèria orgànica, però no tenen el procés de retorn, ja que el seu esquelet està format per sílice en lloc de carbonat. Per tant, les diatomees són més eficients a retirar CO₂ atmosfèric. Atès el sentit oposat de fotosíntesi i formació d'esquelets carbonatats, l'efecte net de la bomba biològica sobre el CO₂ atmosfèric dependrà de l'eficàcia de cadascun dels processos esmentats.

L'eficàcia d'aquestes bombes es pot veure afectada per mecanismes diversos. Per exemple, la bomba de solubilitat queda afectada per canvis en la temperatura. Si els oceans s'escalfen, es redueix la solubilitat i no capten tant de CO₂. I si la circulació termohalina queda alentida, també es retira menys CO₂ atmosfèric cap a capes profundes. Pel que fa a la bomba biològica, és molt important la disponibilitat de nutrients, que és molt variable als oceans. D'una banda, hi ha grans extensions oceàniques oligotròfiques, amb baixes concentracions de nutrients essencials com el nitrogen i el fòsfor. D'altra banda, aquests nutrients poden ser molt elevats en algunes zones, com a l'oceà Austral. Ara bé, contràriament al que s'esperaria, en aquests mars australs la productivitat és molt baixa. Per explicar aquesta situació anòmla (es parla d'àrees HNLC per les sigles en anglès High-Nutrient, Low-Chlorophyll), John Martin va proposar que la baixa productivitat en aquestes aigües tan riques en nutrients era deguda a la manca d'un micronutrient essencial, el ferro (Fe). El Fe arriba als oceans, en gran part, via atmosfèrica, per la deposició de pols dels deserts, rica en metalls. La zona de l'Antàrtida queda fora de les trajectòries principals de transport d'aquesta pols procedent dels continents.

S'han fet experiments de fertilització del mar amb Fe, i s'ha demostrat que, efectivament, l'addició de Fe provoca un augment de la productivitat. Aquest mecanisme s'ha proposat per explicar les baixes concentracions de CO₂ enregistrades durant les èpoques glacials a través d'una major disponibilitat de Fe durant aquests períodes que portaria a un augment de la productivitat i, per tant, a una disminució del CO₂ atmosfèric. De fet, algunes empreses privades ja han proposat de fertilitzar l'oceà amb Fe com a estratègia de mitigació de les elevades concentracions actuals de CO₂. No obstant això, el que aquests experiments no mostren d'una manera clara és que aquest augment de la productivitat es tradueixi en un augment en el transport del carboni fixat cap a l'interior de l'oceà, on quedaria retirat de la circulació. A més, cal tenir en compte l'impacte ecològic que l'addició massiva de Fe podria causar en les comunitats marines (per exemple, un augment de la productivitat també implica un major consum d'oxigen). I, finalment, alguns estudis apunten que per fertilitzar un 20 % de l'oceà farien falta 5500 vaixells carregats de Fe cada l'any, i amb tot això només s'aconseguiria una disminució de 15 ppm del CO₂ atmosfèric.

Processos químics

L'equilibri químic àcid-base del sistema carbonat constitueix un sistema tamponador molt eficient davant de petits canvis en la concentració de CO₂ dissolt en l'aigua de mar. De fet, és gràcies a aquest sistema tamponador que els oceans poden absorbir deu vegades més CO₂ del que absorbirien en absència d'aquestes reaccions. I això és així perquè el CO₂ dissolt en l'aigua no existeix com a tal, sinó que es dissocia per donar lloc a bicarbonat (HCO₃²⁻), carbonat (CO₃²⁻) i protons (H⁺). L'absorció de CO₂ per part dels oceans fa que augmenti la quantitat de protons, els quals reaccionen amb els ions carbonat i donen l'ió bicarbonat, que és l'espècie química majoritària. Com a resultat, l'absorció de CO₂ en l'aigua de mar es tradueix en una reducció de la concentració d'ió carbonat, segons l'expressió:



A mesura que els oceans van absorbint CO₂ i aquest va reaccionant amb CO₃²⁻, la seva capacitat tamponadora va disminuint, perquè cada vegada quedarà menys CO₃²⁻ disponible per a la reacció. Juntament amb la disminució de la capacitat d'absorció dels oceans, aquest augment en la concentració de CO₂ dissolt en produeix una progressiva acidificació (disminució del pH). Actualment s'ha calculat que els oceans han patit

ja una disminució de 0,1 unitat de pH. Sembla poc, però representa un augment de 30 vegades la concentració de protons, ja que el pH es mesura en escala logar mica: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

I quines seran les conseq ncies d'una progressiva acidificació dels oceans? Amb l'acidificació, i la reducció de l' i  carbonat, els organismes que formen un esquelet carbonatat (com per exemple els coralls, mol·luscos, eriçons o pter podes) tindran problemes per calcificar. Si la concentració de carbonats disminueix als mars, el seu estat de saturació (Ω) també disminueix. Aix , parlem d'aigües saturades respecte de l' i  carbonat quan aquest es troba en concentracions suficients per afavorir la formació de les closques i esquelets dels organismes. Cada espècie té un grau de saturació específic (concentració de carbonat per sota de la qual no poden construir el seu esquelet). Per exemple, gran part dels coralls viuen en aigües amb valors de Ω superiors a 3. Les previsions per al futur, però, indiquen que l'estat de saturació dels carbonats anirà disminuint i, per tant, la concentració de carbonat no serà suficient a fi que aquests organismes calcifiquin. Uns dels organismes que primer poden resultar afectats són els pter podes, organismes molt abundants a l'oceà Austral i que formen la base de la dieta del *krill*, aliment principal de balenes i foques. Altres organismes que en quedaran afectats són les algues coccolitoforals, responsables de gran part de la producció primària en els oceans. En aquest cas, la forma cristal lina del carbonat precipitat per aquestes algues   la calcita, mentre que coralls i pter podes precipiten aragonita, forma cristal lina del carbonat m  fràgil i sensible a la dissolució.

Altres conseq ncies d'una disminució del pH seran sobre la química de nutrients i toxines.  s el cas del coure, per exemple, que actua com a nutrient quan es troba complexat, però que   tòxic en la seva forma lliure, la qual augmenta a pH m  baixos. Altres exemples serien canvis en la fisiologia i reproducció d'animal marins: acidosi de teixits, síntesi de proteïnes, mortalitat de petits crustacis, etc.

La nostra recerca en els oceans

Per acabar, far  una breu llista dels estudis que portem a terme a l'Institut de Ciències del Mar que fan referència als temes esmentats.

1. *Experiments de manipulació per simular condicions futures.* Hem instal lat experiments per manipular el pH en aquaris, a fi d'exposar diferents espècies de coralls a un rang variable de pH. Amb aquest experiment volem estudiar els efectes de la disminució de pH en la supervivència dels organismes que formen esquelets carbonatats.

2. *Monitoratge de la variabilitat actual.* Malgrat la repercussió dels canvis del pH en els ecosistemes marins, hi ha encara molt poques dades de variabilitat d'aquest paràmetre, tant temporal (cicles de dia/nit, cicles estacionals, interanual...) com espacial. Hem instal·lat un sistema que mesura el pH en continu a una fondària de 20 m a les illes Medes, una zona especialment sensible per la presència de coral·ligen.

3. *Reconstruccions de pH en el passat.* Fem estudis per reconstruir el pH de les aigües de mar en el passat, basant-nos en el mostratge de testimonis de coralls massius, tipus *Porites*. Aquests organismes són ideals per estudiar la variació del clima en el passat (els últims segles) i detectar canvis en el pH, la salinitat o la temperatura, ja que creixen 1 cm cada any i arriben a fer 3-4 m de diàmetre.

Resumint, doncs, sabem que la concentració de CO₂ a l'atmosfera ha augmentat un 40 % respecte dels valors preindustrials (de 270 a 380 ppm). Els oceans han absorbit ja la meitat de les emissions derivades de la crema de combustibles fòssils, però la seva capacitat és limitada. Juntament amb l'escalfament global, l'absorció d'aquest CO₂ per part dels oceans està modificant la química dels oceans, amb conseqüències greus per a un gran nombre d'organismes marins.

No obstant això, tot i saber que el CO₂ atmosfèric està augmentant, que la temperatura augmenta, que el nivell del mar puja, que els oceans s'acidifiquen, etc., no tenim clar com seran exactament aquests canvis (com de ràpid pujarà el nivell del mar o quins ecosistemes seran els més afectats per una disminució del pH) i quines regions del globus en quedaran més afectades, i això paralitza moltes accions. Malgrat aquestes incerteses, no podem esperar a comprovar la severitat d'aquests canvis i a veure com es van desenvolupant. Tal com ja va dir R. Revelle el 1960, «Els homes estan actualment duent a terme un gran experiment geofísic», o més recentment Socolow (2005), «La humanitat està desenvolupant un experiment incontrolat sobre el funcionament del món». Hem de ser conscients que aquests experiments podrien tenir conseqüències indesitjades per a nosaltres mateixos.

El subministrament del petroli: reptes i incerteses

Mariano Marzo

Catedràtic d'Estratigrafia. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona (UB)

La xerrada d'avui és per a persones valentes. Us parlaré de l'esgotament del petroli i veurem que el futur que encarem si continuem com fins ara és un futur brut, insegur i car. És dur d'assimilar, però cada dia que passa és més urgent divulgar aquesta realitat per intentar assolir un ampli consens que ens permeti posar remei a aquesta situació.

Les dades que presentaré no són matèria privada de determinats sectors, sinó que són ben conegudes pels gestors polítics als nivells més alts i totes procedeixen d'informes oficials públics. L'Agència Internacional de l'Energia, any rere any, ens informa sobre el tema, així que el que explicaré no és cap novetat. I això no obstant, sembla que ningú no en faci esment. Si hi ha un gran desconeixement és perquè vivim en un món on es prefereix no parlar de problemes de mitjà i llarg termini: vivim en la societat de la immediatesa. I, com bé se sap, els mitjans no difonen el que el públic no està disposat a escoltar.

Una idea important del meu missatge és que la fortalesa d'un sistema es mesura per la fortalesa de l'esglaó més dèbil. En aquest cas és el petroli i, de retruc, el transport. A pesar que normalment es para molta atenció en l'electricitat (com es pot veure en el debat sobre les energies renovables, o les nuclears), el problema principal és en el transport, que a Espanya representa prop del 50 % del consum final d'energia primària, mentre que l'electricitat tan sols en representa el 20 %.

Al món es consumeixen diàriament més de 85 milions de barrils de petroli (a Espanya, són 1,6 milions de barrils, el 2 % del consum mundial). Fem uns pocs càlculs: si un barril conté 159 litres, això vol dir que el consum diari mundial és de 150.000 litres per segon, els quals usem principalment per moure'ns d'un costat a un altre. En un any, aquesta quantitat equival al volum d'un cub d'una milla de costat. L'energia equivalent a aquest cub és la que donarien 5.200 centrals tèrmiques de carbó, o 2.600 centrals nuclears, o mes de un milió i mig de generadors eòlics.

Si seguim amb les tendències demogràfiques i de consum actuals, es preveu que el consum de petroli s'incrementi en un 1,3 % anual, passant de 85 milions de bidons de petroli l'any 2005 a 116 milions de bidons de petroli l'any 2030. Una manera molt planera d'expressar aquesta tendència a l'augment és considerar que vam trigar 125 anys per consumir el primer bilió (10^{12}) de barrils de petroli, però que el proper bilió el consumirem en els propers 30 anys. I cal tenir en compte que es calcula que les reserves totals de petroli recuperables al món són de 2 bilions de barrils. És a dir, estem accelerant el consum de petroli a una velocitat que mai no s'havia donat en la història de la humanitat. A més, el seu major consum tindrà lloc als països en vies de desenvolupament, ja que els països pobres aspiren al nivell de vida que ostenta el primer món.

Ens podem preguntar en què es gastarà aquest bilió de barrils de petroli. La resposta és clara: principalment en el transport, que consumirà el 63 % de l'increment del consum de petroli previst durant el període 2005-2030.

Si descomponem el que representa un barril de petroli (159 litres) en els diferents usos que se'n fa, veiem que el 50 % va cap al transport (i d'aquest, el 80 % per a transport de carretera, el 10 % a transport aeri, el 5 % a transport marítim, i el 5 % a transport en l'agricultura, pesca i mineria), el 35 % s'usa com a font d'energia domèstica i per a la indústria, i només el 15 % restant es fa servir per a la indústria petroquímica que el converteix en matèries plàstiques, fibres, adobs i detergents. D'aquests percentatges cal remarcar que el 85 % del contingut d'un barril del petroli el cremem, produint, en aquest procés, gasos d'efecte d'hivernacle que contribueixen a l'escalfament global.

Al primer món tenim com a mitjana un cotxe per cada 2 habitants. Per contra, als països pobres hi ha 4.300 milions de persones que tenen menys d'un cotxe per cada 20 habitants. Molts d'ells aspiren a tenir un cotxe, possibilitat que ara es pot fer efectiva, com per exemple amb la disponibilitat del Tata Nano a l'Índia a un preu força barat, cosa que facilitarà la motorització de molts milions de persones.

A Espanya (dades del 2005), el petroli representa el 49 % del total del consum d'energies primàries, una proporció més elevada que la d'altres països rics (als països de l'OCDE el petroli representa el 35 % de l'energia primària consumida i a la resta del món, el 30 %). L'altre 50 % del pastís de l'energia primària que consumim inclou el gas (20,5 %), el carbó (14 %), l'energia nuclear (10 %), les «noves» energies renovables com la solar i l'eòlica (3,5 %), la hidroelèctrica (1,2 %) i la geotèrmica (1,3 %). En total a Espanya consumim 145 milions de tones equivalents de petroli a l'any.

Desafiaments davant de la demanda prevista

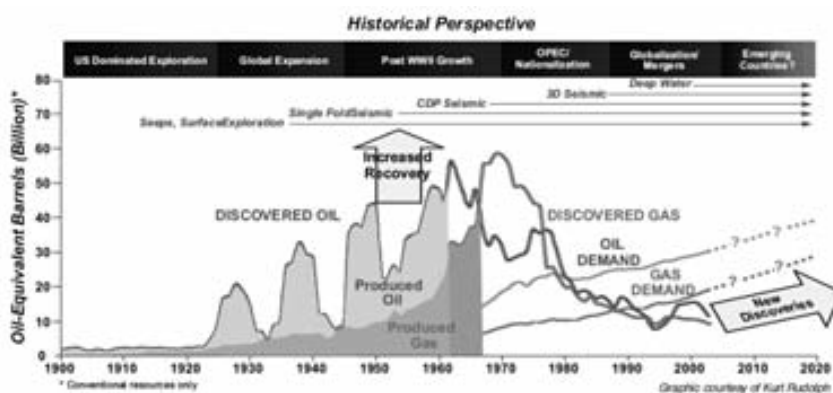
Aquests dies, des del punt de vista del consumidor, la idea és que el preu del petroli està pels núvols. Aquesta pujada del preu es deu a l'increment de la demanda per l'esmentada incorporació al consum dels països en desenvolupament. Però també hi ha problemes a les refineries. I en el sector del transport del cru. I també tenim problemes en l'extracció i en l'exploració de nous jaciments. És a dir, normalment, en analitzar el problema del petroli, ens el mirem des del punt de vista del consumidor i tan sols ens en preocupa el preu. Com als economistes. En canvi, els enginyers i químics analitzen què passa amb el sector del refinament, i els geòlegs, amb el sector de l'exploració i l'extracció. Si únicament caracteritzem el problema al final del cicle (en el preu al consumidor) és com si caracteritzéssim les aigües d'un riu pel seu estat a la desembocadura, sense comptar com està la salut del riu aigües amunt. Aquesta comparació és pertinent, ja que es pot descompondre el cicle del petroli en una part aigües avall (*downstream*), mentre que la part de l'inici de la cadena es coneix com a aigües amunt (*upstream*) i correspon a la part d'exploració, extracció i transport. Nosaltres, el geòlegs, som gent que treballem a la part inicial de la cadena, aigües amunt, i ara us faré cinc cèntims de quina és la situació en aquest sector.

Certament, al principi de la cadena del petroli detectem un seguit de problemes importants: 1) els descobriments van a la baixa i, per contra, els costos s'incrementen; 2) els camps envelleixen i la seva productivitat cada vegada és més baixa; 3) el sector necessita inversions molt elevades i no hi ha garanties que aquestes arribin a temps, i 4) hi ha limitacions en el lliure mercat, ja que els països que tenen el recurs els volen gestionar ells mateixos (l'anomenat petronacionalisme). Les conseqüències de tot això són clares: 1) cada vegada dependrem més de l'organització de països exportadors de petroli (OPEP) i de l'Orient Mitjà; 2) aquesta dependència de fonts llunyanes ens fa més vulnerables a interrupcions temporals en el subministrament, i 3) tot això comportarà més volatilitat de preus en els mercats i la fi de l'era del petroli fàcil i barat.

Pel que fa a l'afirmació que els descobriments van a la baixa, em referiré a les corbes que relacionen l'evolució del descobriment de petroli i gas amb les de la demanda d'ambdós hidrocarburs des del 1900 fins a l'actualitat.

El petroli va assumir el punt màxim d'addició de reserves per nous descobriments l'any 1960. En el gas, aquest màxim es va produir al cap d'uns deu anys. Això no constituiria un problema si no fos perquè, des dels anys vuitanta, la demanda ha superat les quantitats reposades a par-

tir dels nous descobriments. Al gràfic es veu com, a partir d'aquesta dècada, consumim més petroli del que reposem, i amb el gas això passa a partir dels noranta. Per tant, el balanç net és negatiu (estirem més el braç que la màniga). Afortunadament, de moment no hi ha carestia, ja que disposem d'un important magatzem de reserves, però ha de quedar molt clar que actualment consumim més petroli i gas del que anem trobant.



En relació amb la qüestió de l'envelliment dels camps, hem de tenir present que si no es renoven els jaciments amb nous descobriments cal sobreexplotar els existents per fer front a la demanda creixent. Tanmateix, la producció dels camps vells no es pot mantenir al mateix ritme, i cada any s'extreu menys quantitat de petroli. En realitat, any rere any, el que hem de considerar a escala mundial és el balanç entre tres factors: la nova producció, la demanda i el declivi natural. Si la demanda va acompanyada d'un declivi en l'extracció, la nova producció ha de ser més gran per compensar els dos factors esmentats. Si això no es compleix, els preus van pujant.

Respecte al tema de les inversions, cal considerar que mantenir coberta la demanda de petroli futura pot tenir uns costos desorbitats. Les previsions de l'Agència Internacional de l'Energia (AIE) sobre les inversions necessàries al món per al període 2005-2030 són de 4,3 bilions (4.3×10^{12}) de dòlars. On s'haurien d'invertir aquests diners? A l'Orient Mitjà, Àfrica, Rússia, l'Amèrica Llatina, etc. Però els inversors tradicionalment no són amics d'invertir en llocs arriscats i, a més, s'ha de tenir en compte que no tota l'activitat exploradora té èxit, ja que només en el 35-40 % dels casos es troba un jaciment productiu. En resum, es necessita molta

inversió, en zones difícils, en activitats de molt risc i està per veure si les inversions arribaran a temps.

L'opinió general és que les grans multinacionals del petroli són els dolents de la pel·lícula. Però, en termes de reserves, hi ha una lluita entre les IOC (International Oil Companies, empreses que cotitzen en borsa) i les NOC (National Oil Companies, companyies estatals que no cotitzen en borsa). No és un fet gaire conegut, però aquestes darreres posseeixen el 85 % de les reserves mundials de petroli i gas. Les IOC, tot i que en capitalització borsària són uns gegants, en matèria de reserves són quasi insignificants. Les companyies NOC depenen dels estats i, per tant, no tenen per què entrar en el lliure mercat. Com va dir Dick Cheney, el negoci del petroli és un negoci entre els estats, i això explica per on van els trets en el tema de l'Iraq i l'Orient Mitjà. Els estats forts poden negociar i arribar a acords de subministrament a llarg termini millor que els estats dèbils.

A més, les NOC no han de retre comptes dels seus guanys a accionistes i guanyen molts diners, dels quals en dediquen una part a subvencions dins del seu país i així mantenir una certa estabilitat política i social i evitar revolucions internes. El que sobra ho dediquen a expandir-se internacionalment i a comprar més camps de petroli i gas. Enfront de les NOC, les grans multinacionals (companyies IOC) no poden competir en les compres, ja que les companyies estatals poden fer més bones ofertes. Per exemple, ara mateix les petroleres estatals xineses s'estan expandint arreu del món (Canadà, Veneçuela, Sudan...). I la Xina està formant 50.000 geòlegs per any per dur a terme aquesta expansió.

Abans he esmentat que dependrem més de la OPEP. Per què? Segons estimacions de l'AIE, a partir del 2010 s'estancará el subministrament del petroli no-OPEP. Per tant, l'augment de les futures necessitats de petroli haurà de ser satisfet per aquesta organització i molt especialment per l'Aràbia Saudita. El cor del planeta pel que fa al futur subministrament del petroli és l'Orient Mitjà. Però es dona la circumstància que l'Orient Mitjà se situa al pati del darrere de les potències emergents (la Xina i l'Índia) i de Rússia i Europa, però, en canvi, està molt lluny del principal demandant de petroli (Amèrica del Nord), cosa que afecta la geopolítica global de manera decisiva.

També he parlat de riscos d'interrupció temporals del subministrament. El petroli, a més d'extreure'l, se l'ha de transportar. En la seva via als mercats, el cru, transportat pels vaixells petroliers, ha de passar per punts estratègics (*choke points*). Per exemple, per l'estret d'Ormuz, al golf Pèrsic, hi passa el 20 % del comerç mundial de cru (any 2003), però l'any 2030 serà el 36 %. Un bloqueig en aquest punt impediria la

distribució als mercats d'una tercera part del petroli mundial! També són importantíssims els estrets de Malacca, en la ruta de distribució a la Xina, el Japó i Corea del sud. La Xina està desenvolupant una marina de guerra a tota velocitat per protegir aquestes rutes de la pirateria i de possibles actes terroristes. Els països rics, per prevenir aquestes interrupcions, s'han dotat de reserves estratègiques des dels anys setanta. Les reserves estratègiques contenen petroli per a tres mesos de consum. Els Estats Units emmagatzemen un o dos mesos de consum, tot i que es podrien allargar les reserves en casos d'extrema necessitat aplicant programes de racionament, com el *car pooling*, dies obligatoris de deixar el cotxe, o posant límits de velocitat, totes elles mesures impopulars.

Si dividim les reserves per la producció (R/P), obtenim els anys durant els quals disposem d'un recurs determinat. Aquest càlcul dóna com a resultat, de mitjana mundial, que tenim petroli per a 40 anys, gas per a 60 i carbó per a 210. Però això és una fal·làcia, ja que assumeix que no hi haurà problemes fins que s'esgoti la darrera gota. Però s'ha de tenir en compte que un jaciment d'hidrocarburs no és una bossa (com normalment es diu), sinó una roca, de la qual exprimim l'oli, tal com indica el mateix nom de petroli (oli de pedra). En talls al microscopi es pot veure el petroli contingut en els microespais enmig de la part sòlida de la roca. Extreure el petroli és com extreure el cafè que impregna un terròs de sucre: primer l'extracció progressa en el temps amb facilitat, però a mesura que disminueix la pressió de fluid en la roca productora i s'ha recuperat la fracció menys viscosa i de més bona qualitat, l'extracció es fa més difícil i decau en el temps. Finalment, quan s'ha recuperat al voltant del 35-45 % del cru originalment existent, l'extracció pot considerar-se comercialment menyspreable. Per aquesta limitació física deixem en el jaciment més del 50 % del cru. Això implica que no es pugui parlar de la fi del petroli. El petroli no s'acabarà mai. El problema deriva de les limitacions en la capacitat d'extracció i que la demanda superi l'oferta. Per exemple, als anys setanta als Estats Units es va desacoblar l'oferta i la demanda, de manera que per primera vegada van haver d'importar petroli (i així van enfortir l'OPEP). Al Regne Unit, fa poc s'ha superat el moment de l'autosuficiència per passar a la dependència, en no poder subministrar al ritme de la demanda, cosa que ha creat una psicosi terrible i ha fet que es plantegin un revifament de l'energia nuclear i un retorn al carbó.

Aquests escenaris es veuran a tot arreu quan s'assoleixi el zenit mundial de la producció de petroli o *peak oil*. Quan arribi aquest moment hi ha dues possibilitats. Uns veuen una caiguda de la producció sobtada (*peak*), mentre que d'altres diuen que es produirà una estabilització

abans de la caiguda (*plateau*). En funció de les escoles es preveu com a més o menys immediat. En tot cas s'assumeix, en la millor de les hipòtesis, que a partir de 2020-2030 la producció no podrà continuar creixent. Segons declaracions d'un màxim executiu de la Shell el 25 de gener de 2008, recollides als diaris *Times* i *La Vanguardia*, el moment en què la demanda no pot seguir l'oferta pel que fa als petroliis convencionals ja és aquí, o a tot estirar, al 2015. No sorprèn, doncs, que la revista *Science*, en analitzar les vint preguntes més importants que el món ha de resoldre en el seu futur, inclogui les qüestions: què pot reemplaçar el petrolii barat? i quan?

El pic de la producció de petrolii i el canvi climàtic són uns reptes globals sense precedents, dos problemes globals amb grans incerteses i que, per tant, requereixen un enorme esforç investigador, mentre que alhora tenim una gran urgència a trobar respostes adequades d'actuació.

En el futur es poden donar dues situacions: o bé que el petrolii assolixi el pic aviat i la seva extracció caigui després ràpidament, o podem ser més afortunats, i que això es retardi algun temps més. Enfront del problema podem ser reactius (esperar que passi i ja reaccionarem) o proactius (anticipant-nos-hi). Una esquematització en dos eixos, segons un eix que defineix la tendència proactiva-reactiva, i l'altre que representa el temps de la depleció dels jaciments, ens proporciona quatre escenaris. Si som proactius i l'esgotament és lent, ens trobem en l'escenari més favorable, el que s'anomena desenvolupament sostenible, que és el que tots desitgem. Però si l'esgotament és més ràpid del que es pensava, tot i ser proactius i preparar-nos-hi, l'economia no podrà continuar creixent al ritme actual i, per tant, haurem de decreixre (*lean economy*). Si no ens preparem i estem a l'espera dels esdeveniments, els escenaris són de caos i desestabilitzacions inimaginables.

Podem pensar en una solució que passi per un món que es bellugui amb energies renovables i on els hidrocarburs no representin l'energia dominant, però això implica una revolució energètica sense precedents. En el combat pel desenvolupament sostenible tenim tres fronts de batalla simultanis: necessitem que la energia sigui neta (el front de l'ecologia), abundant (el front de la seguretat de subministrament) i barata (el front de l'economia). La virtut està a aconseguir l'equilibri del triangle definit per aquests tres vèrtexs. Un equilibri realitzable si s'actua amb eficiència, estalvi i comptant amb l'educació. També cal afavorir l'energia neta, dissuadir el que contamina i que els sectors de la població més afavorits paguin el que val realment l'energia, és a dir, els seus costos íntegres.

Crec que no hi ha una sola tecnologia que ens permeti sortir d'aquest atzucac. El model que hem de deixar als nostres fills s'ha de basar en la sostenibilitat. Però sostenibilitat no és només ecologia, sinó també economia i seguretat de subministrament. Si fem un cop d'ull a la pir mide de Maslow pel que fa a l'energia i el desenvolupament humà, podríem situar com a primera prioritat l'accés a l'energia. Després, quan aix  està resolt, es necessita seguretat i regularitat en el subministrament. Quan aix  ja queda garantit, el que necessitem es eficiència en els costos. Després, eficiència en els recursos. A dalt de tot, una vegada resolts els temes anteriors, ens trobem amb la situació de luxe de poder triar el tipus d'energia que volem (l'acceptabilitat de l'energia). La nostra societat està instal lada a dalt de tot i s'ha oblidat dels seus  r gens. Però la qüestió que he plantejat de la problem tica del petroli afecta la segona prioritat (seguretat i regularitat en el subministrament), i els pronòstics a mit  termini són força inquietants.

De tota manera, no voldria deixar una sensació excessivament pessimista. No podem oblidar que el futur  s impredecible. Per exemple, lord Kelvin va dir que era impossible volar amb màquines m s pesades que l'aire, i ja ho veieu... I el director de patents dels Estats Units va dir l'any 1899 que tot el que es podia inventar ja estava inventat. I, a m s, el futur no està escrit. No estem predestinats a res. Possiblement trobarem soluci ns, però cal que ens posem tots a treballar immediatament.

Els boscos urbans

Antoni Farrero

Director gerent del Centre de la Propietat Forestal

Introducció

En primera instància, el títol d'aquesta comunicació podria semblar un oxímoron, és a dir, dues paraules amb sentit contradictori, oposat, fins i tot excloent. Efectivament, *bosc* és el nom d'una formació i, encara que podríem entrar en una matisació científica sobre què són realment boscos i què no (arbredes, matollars, plantacions, etc.) —i que realment hauria estat més encertat parlar de forests urbanes—, el que sí que queda clar és que ens estem referint a espais no urbanitzats i que el ciutadà així els percep. Per contra, *urbà* és un terme que designa un tipus de règim de sòl que es caracteritza precisament per ser la culminació d'un procés urbanitzador.

No obstant això, potser per justificar el títol, el terme *bosc urbà*, i més en la versió anglesa *urban forestry*, és un terme d'actualitat, mentre que potser el terme forest no ha acabat d'arrelar, sobretot en la forma plural.

Què són, en realitat, els boscos urbans? Són trossos de naturalesa posats com un decorat a l'interior de les ciutats, o fins i tot dins dels equipaments? Aquest és el cas del bosc de pi rajolet que Dominique Perrault va desmuntar peça a peça d'un territori afectat per una pedrera a Normandia i que després va col·locar dins de la Biblioteca Nacional de París.

Són espais que romanen de manera testimonial dins de les ciutats o urbanitzacions d'una certa extensió i que s'associen a un determinat nivell de naturalitat? En definitiva, són una alternativa d'espais verds en forma de parcs naturals davant dels parcs artificials? Podrien ser espais que, sense perdre naturalitat, poden fer front a les importants demandes d'ús social i qualitat ambiental de la ciutadania urbana?

O són espais —com podem apreciar en molts indrets de les àrees metropolitanes de les ciutats— que actuen com a centres de resistència

a la fal·lera urbanitzadora, fortament pressionats, i que la legislació sectorial no té prou força per protegir? Aquí, tot hi està en contra: el dinamisme econòmic del país, les expectatives de la propietat, l'escàs finançament dels municipis. Només figures urbanístiques fortes, gestionades per administracions decidides i suportades per moviments de la societat civil han aconseguit preservar espais forestals com el Montseny, Sant Llorenç del Munt, el Garraf o Collserola, que es troben clarament en aquesta situació.

Els propietaris d'aquests terrenys, que no han estat beneficiaris de la loteria de l'urbanisme, encara que s'hi han quedat a prop, han de suportar una càrrega dura: pateixen els efectes de la freqüentació i moltes vegades reben el pes d'una legislació ambiental que sovint es projecta amb molta més força sobre el sector forestal, per la seva feblesa, que no pas sobre els altres usos que comporten una rendibilitat molt més alta.

Els boscos urbans dins del context de l'àrea metropolitana de Barcelona

A la regió metropolitana de Barcelona, amb una superfície de 324.000 ha, encara el 57,4 % de l'espai és forestal i el 22,4 % és agrícola. Un fet remarcable és que el residencial dens representa el 3,6 %, mentre que, gairebé el doble, un 6,9 %, és residencial extensiu. Els terrenys forestals estan molt fragmentats per la urbanització i les infraestructures. Són espais naturals desconnectats entre ells des del punt de vista ecològic i paisatgístic i plens d'ocupacions periurbanes.

Dins d'aquest territori hi viuen 4,5 milions d'habitants —un 70 % de la població catalana— en un 10 % del territori, cosa que dona una densitat de 1.357 habitants per quilòmetre quadrat enfront de la mitjana catalana de 199 habitants per quilòmetre quadrat. La urbanització és, doncs, imparable. La interacció de l'espai rural i l'espai urbà és inevitable i la seva integració dins del desenvolupament metropolità és tot un repte. Són terrenys en què l'única oportunitat de conservació és gestionar-los donant-los personalitat i contingut. Això requereix, sens dubte, unes mesures de protecció que van més enllà del règim de sòl no urbanitzable.

La crisi de les estratègies de conservació tradicionals en el cas dels boscos urbans

Els mètodes de protecció clàssics es basaven a delimitar els espais per conservar-los dins d'illes compactes que acabaven entrant en catàlegs sota diverses figures de protecció. Aquest mètode demandava una gestió

econòmica i territorial considerable i, sobretot, una capacitat d'aconseguir la integració de la gestió dels ens locals, la propietat i altres entitats i associacions interessades en els terrenys.

En aquest sentit, destaquen els esforços i els resultats, aconseguits per la Diputació de Barcelona i la Corporació i la Mancomunitat de Municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona. En la dècada dels setanta, aquestes institucions ja havien aprovat i gestionaven plans especials de protecció, i el PGM recollia aquesta filosofia. Després va venir la integració de les entitats locals i civils amb l'establiment de consorcis per a la gestió d'espais com Collserola, el Garraf, la serra de Marina i altres.

A mesura que ens acostem a les zones més urbanitzades, el model esdevé més complex. S'exigeixen uns recursos econòmics molt elevats per a l'adquisició i el manteniment dels terrenys i es requereix, per poder conservar-ne la integritat, una gran capacitat de gestió per cobrir la vigilància, el control del planejament, la prevenció d'incendis, l'ordenació de l'ús social, etcètera.

D'altra banda, l'antic problema del control dels límits passa a ser el problema de la connectivitat. La filosofia d'il·les compactes ens porta cap a una visió del territori molt més complexa, en forma de sistema. Un sistema en què la productivitat econòmica d'aquests terrenys —majoritàriament de propietat privada— esdevé pràcticament nul·la. La clàssica multifuncionalitat de les forests passa a ser, en el cas d'aquest boscos urbans, una bifuncionalitat amb components ecològics i socials. La gestió es fa per preservar la integritat i donar contingut als terrenys i, en lloc de reportar ingressos, es converteix en una font de despeses.

Per tant, ens trobem amb uns espais de molta importància ambiental i social, de titularitat majoritàriament privada i amb un ús majoritàriament públic. Un conflicte que encara adquireix una proporció superior quan molt a prop d'aquests espais les classificacions residencials i industrials han reportat uns beneficis molt importants als seus propietaris. La pregunta és: cal considerar aquests boscos urbans com a sistemes d'espais lliures dins d'aquesta ciutat metropolitana o cal intentar donar-los contingut forestal com a sòl no urbanitzable?

El tractament com a sòl no urbanitzable admetent-hi una activitat forestal implicaria el reconeixement d'una multifuncionalitat, en què l'aprofitament econòmic és una de les funcions, i on queda pendent el problema de l'ús públic en terrenys de titularitat privada. En canvi, el tractament com a sistema legitimaria l'expropiació i implicaria uns costos de manteniment importants per part de l'Administració.

Entenem que, en els territoris metropolitans, els boscos urbans s'han d'incloure dins de les dues fórmules esmentades, però s'aproximaran

més al concepte de sistema d'espais lliures: com més intens sigui l'ús públic, més gran l'afinitat a les àrees urbanes i més petita la capacitat productiva primària.

La infraestructura verda

En realitat, els boscos urbans són infraestructures verdes dins de zones urbanitzades. En aquestes infraestructures conviuen una gran diversitat d'espais, on cadascun té la seva funció i unes possibilitats de gestió determinades i el conjunt és el que realment enriqueix el territori.

Per exemple, a la figura 1 es pot veure una representació d'aquest concepte d'infraestructura verda aplicat a l'entorn de Cerdanyola del Vallès, on es poden diferenciar diversos elements de la infraestructura verda que envolta aquest indret: el parc de Collserola, en què l'ús públic i la conservació ambiental poden conviure amb certes activitats primàries de baixa intensitat, encara que en zones més sensibles dins del parc la titularitat pública hauria de ser obligada per aconseguir la màxima preservació natural i parlariem aleshores de sistemes; la riera de Sant Cugat, de domini públic i gran interès ecològic i paisatgístic; la vegetació associada a infraestructures i zones residencials amb una gran vocació d'ús social i el parc metropolità del Turonet, amb una vocació multifuncional i de connexió de la xarxa d'espais públics amb els espais periurbans i els parcs naturals periurbans.

Molt interessants són les zones de frontera entre la part urbanitzada i el bosc, on se situen peces d'agricultura entre les zones urbanes i el bosc en règim de sòl no urbanitzable. La importància d'aquestes àrees és vital. La fórmula de gestió per a aquestes formacions és la de concertació entre activitat privada i activitat pública mitjançant contractes programa o acords de custòdia del territori.

També són importants les connexions entre els espais. Per exemple, en el parc del Turonet de Cerdanyola, és més sensat intentar salvar les peces de natura que encara queden, d'un tipus de vegetació similar a la del gran parc forestal que envolta la ciutat, i aplicar tècniques de jardineria extensiva només allà on la intensitat de l'ús social obligui a fer-ho. Amb aquest plantejament, el conjunt comprèn diferents tipus de vegetació arbòria i ornamental basats en la vegetació espontània. Aquest tipus d'actuació es pot fer en l'àmbit normatiu, fins i tot en jardins d'habitatges, en parcs urbans dins de la ciutat o en la vegetació associada a les vies urbanes (places, carrers, talussos, riberes dels rius, etcètera), a fi d'aconseguir un disseny d'infraestructura verda on tots els aspectes estan relacionats i fugir, així, d'una jardineria que exigeix molts recursos econòmics i ambientals.

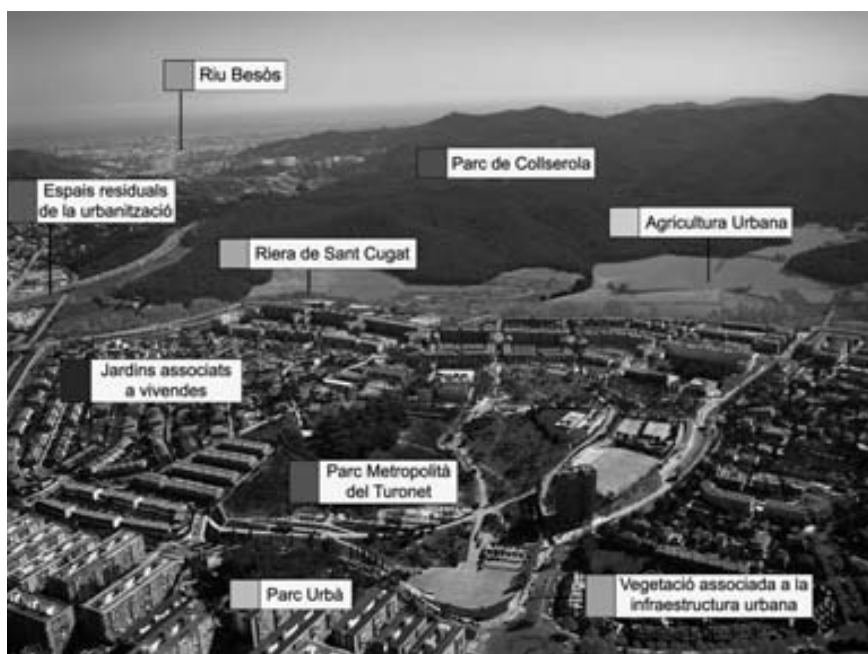


Figura 1: els diferents elements de la infraestructura verda als voltants de Cerdanyola del Vallès i vista del Parc del Turonet. Fotografia de Juan Manuel Martínez

Conclusions

Per acabar, i com a reflexions finals, volem remarcar, en primer lloc, que és inviable fer un ús públic intens, o restringir l'activitat econòmica pràcticament a zero, en terrenys de titularitat privada, sense passar els terrenys a titularitat pública per mitjà de la compra o l'expropiació.

En segon lloc, caldria reflexionar sobre el fet que no hi ha res pitjor per al territori i per a la societat que els terrenys sense contingut, terrenys abandonats i deixats de la mà de Déu dins d'un model de desenvolupament urbanístic agressiu. En els entorns metropolitans, els espais abandonats i sense personalitat són colonitzats per a usos indesitjables que condueixen a processos de degradació que després són molt difícils de corregir. Cal donar un contingut als espais de sòl no urbanitzable, sigui simplement la vigilància, sigui una adequació cap a l'ús públic o sigui una activitat primària agrícola o forestal.

En tercer lloc, remarquem que l'estratègia per donar contingut als boscos urbans exigeix tècniques combinades de planejament i gestió forestal.

Finalment, la catalogació dels espais ha d'anar acompanyada d'una dotació de recursos econòmics adients, ja que altrament els efectes són similars a l'abandonament.

La fragmentació dels hàbitats a la regió metropolitana de Barcelona

Joan Pino

Professor del Departament de Biologia Animal, de Biologia Vegetal i d'Ecologia a la Universitat Autònoma de Barcelona i investigador del CREAF.

El tema de la fragmentació és un tema complex. Dit de manera molt simplificada, la fragmentació fa referència al trencament dels hàbitats en trossos més petits; però també implica la reducció de les mides dels fragments, l'increment del nombre de clapes, una major proporció de les vores en relació amb la superfície interior de la clapa i una pèrdua neta d'hàbitat. Tot això té efectes sobre la biodiversitat.

Entre aquests efectes, s'ha observat, per exemple, que les clapes més petites suporten menys espècies; a més, les poblacions d'aquestes són més petites, cosa que els confereix una menor variabilitat genètica i, per tant, més risc de desaparèixer. També implica que les poblacions quedin més aïllades entre si, ja que augmenta la distància entre els fragments d'hàbitat. Però alhora també implica que es donin unes noves condicions que poden afavorir altres espècies, especialment les espècies de les vores. Així, podríem parlar de dos tipus d'espècies: les especialistes de determinats hàbitats, que viuen a l'interior de les taques i defugen les vores, i les oportunistes o més eurioiques dels marges, les quals es veuen afavorides per la fragmentació.

La fragmentació, doncs, és un fenomen complex, difícil de valorar com a bo o dolent; el que resulta bo per a unes espècies és dolent per a unes altres. A més, el terme fragmentació té una gran varietat d'accepcions. Per exemple, parlem de fragmentació per referir-nos a un patró, una determinada disposició dels hàbitats en el territori. Però el verb *fragmentar* indica un procés que està tenint lloc en el temps. D'altra banda, pot ser que hi hagi una divisió en fragments amb pèrdua d'hàbitat o sense (el que s'anomena fragmentació en si). També, s'ha de distingir la fragmentació d'origen natural de la de tipus antròpic. I, encara, per valorar els efectes de la fragmentació s'ha de tenir en compte que hi ha un cert retard entre els factors que provoquen la fragmentació i l'observació de les conseqüències d'aquesta, ja que els ecosistemes tenen una certa inèrcia davant dels canvis.

El nostre interès se centra en la fragmentació antròpica i les barreres associades al desenvolupament urbà i les seves infraestructures. Aquí presentaré alguns casos i faré l'anàlisi d'alguns patrons i dels canvis que la fragmentació provoca en els paisatges metropolitans.

La regió metropolitana de Barcelona és especialment dinàmica i sotmesa a fortes pressions. És una zona on, malgrat que no augmenti la població, la taxa d'urbanització és molt alta (1000 ha/any de nova superfície urbana durant els darrers 50 anys) i això es tradueix en efectes considerables en el territori. A continuació analitzarem els patrons de fragmentació que aquesta pressió antròpica ha fomentat. Alguns d'aquests patrons els podem considerar amistosos, com la transformació d'antics boscos cap a zones de conreu i mosaics agroforestals, una transformació també deguda a la mà de l'home ocorreguda ja fa molt de temps. Aquests mosaics agroforestals són zones d'elevada biodiversitat, com demostra l'alta diversitat d'ocells hivernants que es pot veure a la plana del Vallès, una diversitat superior a la de les serralades veïnes. I així, cal destacar que les zones de màxima riquesa d'espècies són fora dels límits dels parcs naturals. També cal destacar que el bosc no és la coberta dominant allà on hi ha la màxima diversitat. Per tant, en aquest cas, veiem que un patró de fragmentació pot ser positiu per a la biodiversitat.

Un altre exemple el constitueixen els boscos de la plana del Vallès. S'hi va estudiar quant de bosc hi havia i en quines condicions es trobava. A la plana del Vallès, malgrat que no ho sembli, hi ha un 30 % de superfície en forma de bosc. Ara bé, aquests espais forestals estan bastant fragmentats i formen petites clapes sense connexió amb les gran masses forestals de les serralades Prelitoral i Litoral. A la plana del Vallès vam comptabilitzar 2500 clapes de bosc de menys de 5 hectàrees: es tracta d'hàbitats molt esmicolats i, a més, normalment tenen una forma allargada i esfilagarsada, de manera que el 50 % de l'àrea del bosc està a menys de 20 m de la vora. Així, la influència de la vora és molt important, i els plaguicides i adobs dels camps dels voltants hi deuen tenir una gran influència, com també la freqüentació humana als boscos. Per exemple, hem vist casos on els boscos són usats com a camps de futbol o llocs d'acampada. En aquest estudi, vam veure que l'estat de gairebé un 50 % boscos indicava una freqüentació mitjana o alta. Com pot afectar això la biodiversitat? Fins a quin punt les espècies que trobem en aquests boscos són les que hi hauria d'haver? Vam trobar que als boscos freqüentats hi havia menys del 30 % de plantes de bosc estricte. En canvi, hi havia moltes espècies de llocs pertorbats, i espècies sinantròpiques (espècies que acompanyen l'home, com ara les espècies exòtiques, o les

conreades). En estudiar els ocells, es va trobar el mateix: hi havia un 50 % d'espècies típiques de bosc, i un 40 % d'espècies de marges forestals i espècies agrouurbanes (barreja d'espècies de bosc i dels hàbitats que el voregen).

L'efecte marge el podem estudiar observant els canvis a mesura que entrem cap endins del bosc: veiem que als 10 primers metres hi ha moltes espècies, les quals desapareixen en endinsar-nos dins la clapa de bosc; és a dir, les vores són un lloc d'entrada on la composició forestal típica es veu alterada per les espècies dels hàbitats veïns.

Hem vist que tant la fragmentació com la freqüentació modifiquen la composició dels boscos. Ens podem preguntar quin dels dos factors d'alteració (la fragmentació o la freqüentació) afecta més la riquesa d'espècies. Se sap, per la teoria de la biogeografia insular, que, a mesura que augmenta la mida del bosc, augmenta el nombre d'espècies de plantes i ocells, i així ho esperaríem amb les clapes de bosc estudiades. Veiem que no tots els grups d'espècies tenen igual resposta respecte de la mida de la clapa. Si comparem la mida, veiem que les clapes grans tenen un 15 % més d'espècies d'ocells i un 11 % més de totes les espècies de plantes juntes.

D'altra banda, quan comparem l'augment d'espècies en les zones freqüentades respecte de les no freqüentades, veiem uns augments molt considerables a les zones freqüentades, a causa de l'entrada d'espècies sinantròpiques. La magnitud de l'increment és molt més important que la que s'observa en passar de boscos de mida petita a gran. El resultat és que la fragmentació del paisatge determina certs efectes, però no per si sola, sinó sobretot associada als patrons de freqüentació. També ens podem preguntar què passa a les clapes de bosc de la plana en relació amb els grans espais forestals de les serralades que les envolten. Veiem que algunes espècies són més abundants a les masses forestals de les serralades i altres a les clapes de bosc de la plana. En aquestes darreres s'hi troben freqüentment espècies d'ambients ruderals. D'altra banda, les espècies de brolles i boscos (com l'arboç, els brucs i el llentiscle) són més abundants a les àrees forestals.

En resum, al Vallès encara hi ha molt de bosc, però el 50 % de la seva superfície està constituïda per clapes aïllades, petites i esfilagarsades. Els boscos són força freqüentats; tenen un paper social rellevant, però hi ha els riscos de sobrefreqüentació. Entre fragmentació i freqüentació, sembla ser més perjudicial la segona. Els boscos presenten una biodiversitat considerable, però a la llista hi ha força espècies de llocs pertorbats. La mida de la clapa i la freqüentació humana afecten la riquesa d'espècies per unitat d'àrea, la composició específica i la inte-

gritat biològica. La riquesa d'espècies per parcel·la varia independentment en els diversos grups d'organismes (segons els nostres estudis que han considerat les plantes, els ocells i les formigues).

A continuació, canviarem d'escala per passar a estudiar la fragmentació en l'àmbit de Catalunya. Per això ens fixarem en el negatiu de la fragmentació, és a dir, la connectivitat. Avaluarem els patrons de fragmentació utilitzant l'índex de connectivitat ecològica (ICE) desenvolupat pel CREAM i BCN Regional l'any 2006. És un índex quantitatiu, continu i homogeni, que ha estat desenvolupat per treballar en l'avaluació ambiental estratègica a escala de pla (>1:50.000). S'ha basat en la Cartografia dels Hàbitats de Catalunya del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Per calcular-lo, es defineixen unes àrees focals a connectar (àrees ecològiques funcionals, AEF), en funció de criteris topològics de mida i compacitat que presumiblement sustenten la majoria dels processos ecològics i la biodiversitat, i que, en tot cas, representen una selecció del que és prioritari conservar. Definim, llavors, unes regles de connexió de les AEF, que tenen en compte l'afinitat dels hàbitats que contenen i l'efecte de les barreres antròpiques. En representar l'índex de connectivitat a la RMB, veiem que el territori és ple d'illes relativament desconnectades entre si, amb un considerable efecte de barrera de les infraestructures i les àrees urbanes. A partir d'aquí ens plantejem estudiar si els organismes que hi viuen són capaços de saltar entre les illes i moure's entre les diferents taques d'hàbitat.

Per tal de fer això, fem una aproximació al procés de fragmentació de la RMB a partir de l'ICE. Aquest índex ens permet recalculer la connectivitat en funció del que passarà al territori si es desenvolupen tots els projectes urbanístics i d'infraestructures planificats a la RMB (el que anomenem escenari tendencial). Comparant la situació de base actual amb l'escenari tendencial es formula un índex:

$$P_{ICE} = \frac{(\text{ICE escenari tendencial} - \text{ICE escenari actual}) * 100}{\text{ICE escenari actual}}$$

Mitjançant aquest índex podem descriure com quedaran afectades les diferents zones (agrària, forestal...) per la implementació dels plans de la RMB. Els resultats mostren que, en general, hi ha una pèrdua de connectivitat important que afecta tot el conjunt dels hàbitats de la RMB, així com determinats hàbitats considerats separatament (hàbitat forestal i agrícola), o a les àrees protegides (per exemple, les de Natura

2000). A més, s'observa que els hàbitats protegits perdran connectivitat com a resultat de l'aplicació de plans *fora* de l'àrea protegida, cosa molt interessant, ja que posa de manifest fins a quin punt un parc o una àrea protegida pot funcionar independentment del que està passant al seu voltant.

Un altre procés de fragmentació està tenint lloc als boscos de la plana del Vallès a causa principalment del desenvolupament urbà en aquesta àrea, tal com ha mostrat un estudi comparant els mapes de cobertes dels anys 1993 i 2000 (MCSC, elaborat pel CREAM). Superposant els mapes dels diferents anys es pot analitzar on s'han produït pèrdues o guanys. En set anys, entre bosc perdut i fragmentat, un total del 13 % de bosc ha patit canvis importants que afecten la seva integritat. Per tant, com podem mantenir la biodiversitat forestal en un medi que canvia tant? Això ens porta a estudiar les conseqüències d'aquesta fragmentació en el paisatge de l'àrea metropolitana.

Per exemple, en un estudi del parc de Collserola es va avaluar la qualitat de l'hàbitat forestal per a la geneta. Una qualitat alta en gran part dels boscos de Collserola permet actualment mantenir territoris viables per a aquesta espècie. La situació que comportarà l'execució del Pla General Metropolita mostra, però, un procés molt negatiu de fragmentació i reducció de l'hàbitat òptim per a aquesta espècie.

Ara introduïm un altre procés: la fragmentació inserida en una dinàmica molt accelerada de canvis als territoris metropolitans, dinàmica que hem estudiat al delta del Llobregat. En aquesta zona s'ha produït un abandonament d'algunes àrees agrícoles on actualment s'han recuperat maresmes i aiguamolls. D'altra banda, en altres llocs s'han donat pèrdues per urbanització. Hem elaborat uns mapes de cobertes del sòl amb cinc categories d'usos (categories de naturalitat, de més a menys natural) i les hem comparat per mapes del delta de l'any 1956 i del 1999. Els canvis en classes de naturalitat mostren una pèrdua de les classes més naturals, una pèrdua de conreus i un augment de les cobertes urbanes. Aquest territori ha canviat moltíssim: hi ha pocs racons que no hagin sofert canvis. Hem fet inventaris de canyissars, jonqueres, salicornars i matollars de duna en àrees estables i no estables al llarg d'aquest temps. Si comparem el nombre d'espècies exòtiques en els quatre hàbitats esmentats segons la seva història de perturbacions, veiem que els hàbitats inestables tenen més espècies exòtiques que els hàbitats estables. Podem concloure que no tots els hàbitats poden ser igualment envaïts, ja que els hàbitats més estables fins i tot no contenen espècies exòtiques.

En conclusió, els efectes de la fragmentació són diversos i depenen de l'espècie o grup considerat i de la variable de resposta utilitzada.

També depenen de les escales espacials i temporals utilitzades i del context ecològic (quant d'hàbitat hi ha, contrast entre l'hàbitat i la matriu que l'envolta i de la història prèvia). És difícil treure'n conclusions concretes. De fet, s'ha postulat una possible relació entre el grau de fragmentació i la biodiversitat, segons la qual un grau intermedi de fragmentació seria el més favorable per a la biodiversitat. El problema a la nostra regió està en què podríem haver superat aquest punt, i ara estaríem en una situació en la qual augmentar la fragmentació ens portaria indefectiblement cap a l'empobriment d'espècies.

Finalment, per recapitular els principals conceptes, recordem que la fragmentació no és intrínsecament bona o dolenta (no tota fragmentació és «dolenta», ni tota connectivitat és «bona»). La fragmentació és un concepte multifacètic, els efectes de la qual depenen de molts factors. Cal fer èmfasi en els *processos* (*el que està passant ara*), més que en els *patrons*. La pèrdua d'hàbitat acostuma a tenir més efectes negatius que la fragmentació *per se* (configuració espacial de l'hàbitat romanent). La fragmentació deguda al creixement d'àrees urbanes i infraestructures sol ser més negativa que la que és ocasionada per l'ampliació de cobertes naturals o seminaturals. Cal tenir present, finalment, que els processos de pèrdua i fragmentació d'hàbitats i de reducció de la connectivitat biològica continuen —i s'incrementen— en bona part de Catalunya, i que això pot tenir efectes molt negatius sobre la conservació de la seva biodiversitat.

