

SOSTENIBILITAT PER A UN PLANETA QUE S'ESCALFA

HUMBERT LLAVADOR, Universitat Pompeu Fabra i Barcelona Graduate School of Economics (GSE), i JOAQUIM SILVESTRE, Universitat de Califòrnia

El missatge

El nostre missatge final es pot resumir com: 1 % per a 2 °C.

En paraules: (1) Si tot es fa bé, (2) el món pot aconseguir limitar l'augment de la temperatura global a 2 °C (3) mantenint un creixement econòmic i de qualitat de vida sostenible a l'1 % anual als països desenvolupats (4) mentre els menys desenvolupats creixen inicialment a una taxa més ràpida a fi de convergir amb els desenvolupats en tres generacions.

Aquest missatge, junt amb les nostres recomanacions sobre l'assignació d'emissions entre les regions i sobre les inversions en coneixement i educació, es basen en un seguit de treballs que hem dut a terme en col·laboració amb John Roemer, de la Universitat de Yale, en concret Llavador *et al.* (2010, 2011*a*, 2011*b*, 2013, 2015*a*, 2015*b*), Roemer (2011), Silvestre (2011). El tractament més complet és el del llibre *Sustainability for a warming planet*, escrit per nosaltres tres i publicat recentment per Harvard University Press.

La metodologia

La nostra anàlisi és normativa. Els plans que recomanem sorgeixen de l'*optimització condicionada d'una funció d'objectiu* en un model teòric, els paràmetres del qual calibrem basats en dades empíriques. No adrecem la qüestió, sens dubte delicada, de com posar en pràctica els plans que proposem: considerem que s'han de fixar els objectius abans d'estudiar com implementar-los.

Els principis ètics fonamentals

En lloc de l'*utilitarisme amb descompte* adoptat usualment en els treballs de l'economia del canvi climàtic i els models d'avaluació integrada,¹ nosaltres seguim quatre principis ètics fonamentals, és a saber: *sostenibilitat*, *convergència*, *igualitarisme* i *eficiència*.

Adoptem una ètica *igualitarista*: la societat hauria d'intentar reduir les diferències en el nivell de benestar que són degudes a circumstàncies sobre les quals la persona no té control.² Òbviament, aquestes circumstàncies inclouen el lloc i el moment de naixement, justificant així el principi de la *sostenibilitat*.

D'acord amb l'enfocament rawlsià, o maximín, l'*igualitarisme* es fixa en les persones o grups més desfavorits, cosa que justifica, per una banda, la nostra definició de la funció d'objectiu i, per l'altra, el desideràtum que la qualitat de vida dels països ara menys desenvolupats convergeixi dins un termini raonable al dels avançats.

En el model matemàtic d'optimització, la *sostenibilitat* i la *convergència* apareixen en les restriccions del programa, mentre que l'igualitarisme, que per la seva banda en part inspira la sostenibilitat i la convergència, caracteritza la funció objectiu.

L'*eficiència* l'entendem en el sentit de Pareto: volem esgotar les possibilitats de millorar la qualitat de vida de qualsevol persona, present o futura, sense reduir-ne la de qualsevol altra. L'existència de possibilitats d'aquesta mena constituiria una forma de malbaratament. Això és indesitjable, i nosaltres, com a economistes, en som molt conscients. En la nostra anàlisi, l'eficiència s'obté com a conseqüència de l'optimització.

Les restriccions en el programa d'optimització condicionada

En general, un programa d'optimització condicionada descriu l'objectiu a optimitzar i les restriccions condicionants. El nostre objectiu estarà definit en termes de la qualitat de vida de diverses persones: en parlarem una mica més endavant. De restriccions, n'imposem de tres tipus.

¹ Dos representants notables en són William NORDHAUS (2008, 2013) i Nicholas STERN (2007). Traduíim *integrated assessment models* (IAM) com «models d'avaluació integrada».

² Fem servir com a sinònims els termes *qualitat de vida*, *nivell de benestar* i, més endavant, *utilitat*.

1) *Les usuals dels recursos i de la tecnologia*

La nostra optimització ve condicionada, com es fa en els models econòmics, per les dotacions inicials de tots tipus de capital, incloent-hi el capital humà i la concentració inicial de gasos amb efecte d'hivernacle, que, per simplificar, els limitem al diòxid de carboni (CO₂). També per la tecnologia assequible, expressada per funcions de producció que inclouen la descripció de com el progrés tecnològic respon a les inversions en coneixement, i com el capital humà creix amb l'educació.

2) *La convergència en tres generacions*

La nostra metodologia es pot estendre a un món amb diverses regions, però per simplicitat en considerem un format per només dues regions, el Nord i el Sud (calibrats amb dades dels Estats Units i de la Xina, respectivament): a cada regió i a cada generació hi viuen un nombre possiblement diferent de persones idèntiques, de forma que podem parlar d'una persona representativa per a cada regió i generació.

El principi de convergència es tradueix en la condició que els nivells de benestar de les regions s'igualin en un termini determinat. Concretament, imposem com a condició que el nivell de benestar del Sud convergeixi amb el del Nord en tres generacions o setanta-cinc anys. Tres és en certa mesura un nombre arbitrari, però raonable: dos seria massa curt. Històricament, el temps que ha trigat el nivell de benestar del Japó a convergir amb el dels Estats Units dona suport a la nostra formulació.³

3) *Una trajectòria d'emissions de CO₂ que limita l'augment de la temperatura global a 2°C*

Treballs importants en l'economia de l'escalfament global (en particular, els de Nordhaus)⁴ proposen trajectòries «òptimes» d'emissions de CO₂ que modelen explícitament les interaccions entre l'economia i el clima. Ateses les incerteses en les relacions funcionals amb què operen les ciències del clima, ens mirem aquest treballs amb una dosi d'escepticisme.

³ Per a contrastar la robustesa dels nostres resultats, hem dut a terme una variant de l'anàlisi on imposem convergència en quatre generacions en lloc de tres, sense que els resultats qualitius canviïn gaire.

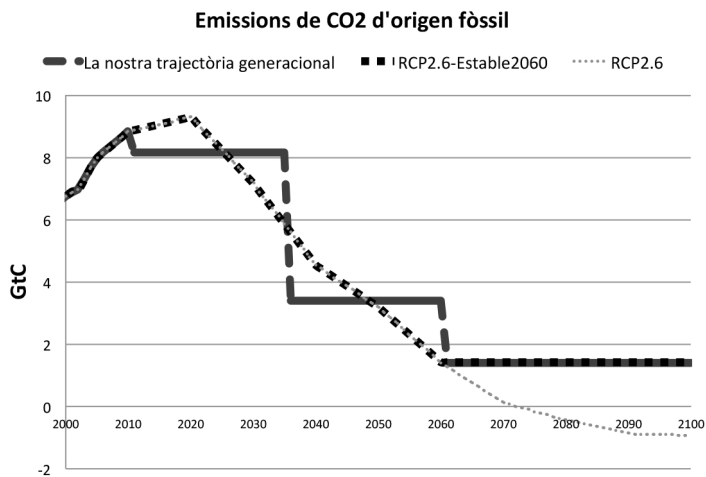
⁴ Végeu NORDHAUS (2008, 2013), NORDHAUS i BOYER (2000).

Nosaltres ens plantegem objectius en certa forma més modestos: prenem com a punt de partida una trajectòria per a les emissions de CO₂ que gaudeix d'un ampli consens científic com a generadora d'un augment esperat a llarg termini de la temperatura global no superior a 2°C.⁵ El gràfic 1 expressa la trajectòria generacional de CO₂ que adoptem: la seva concentració atmosfèrica s'estabilitza a 460 ppm aproximadament, mentre que l'augment esperat de temperatura es manté dessota els 2°C.

Aquesta trajectòria l'adoptem com una dada: és a dir, duem a terme una anàlisi d'optimització condicionada on una de les restriccions és que el món segueixi aquesta trajectòria d'emissions de CO₂. En altres paraules, la trajectòria de les emissions globals és *exògena* en la nostra anàlisi: no la volem determinar. Les variables *endògenes*, les que sí que volem determinar, inclouen l'assignació òptima d'aquestes emissions globals entre les regions.

GRÀFIC 1

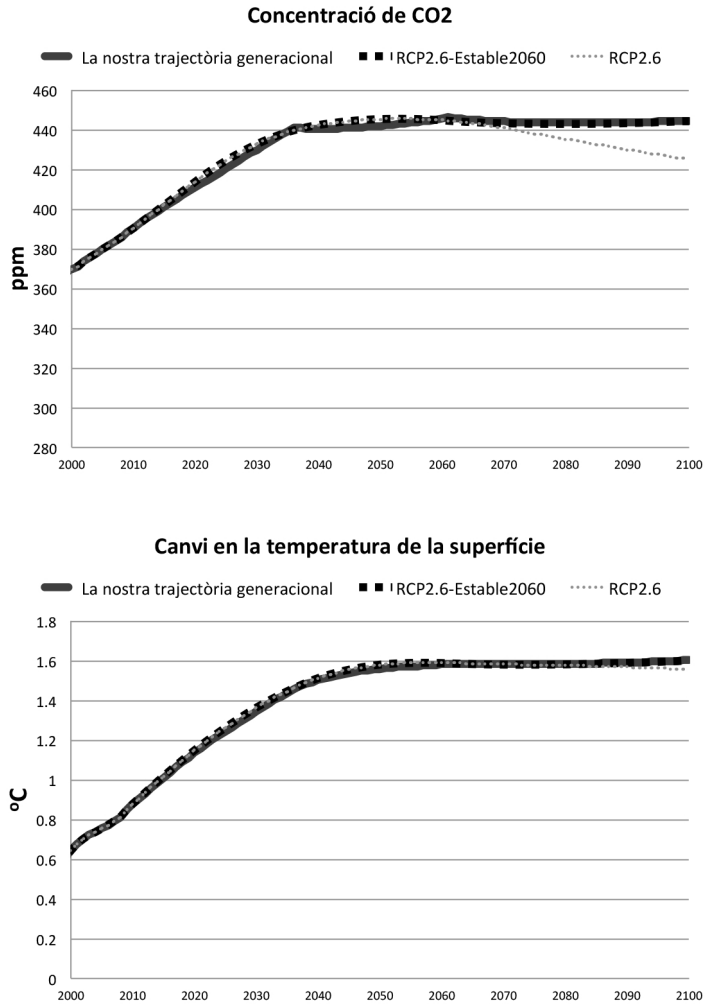
Les emissions, les concentracions i els canvis de temperatura



⁵ Ens basem en els RCP (*representative concentration pathways*) preparats pel Cinquè Informe d'Avaluació (AR5) de l'Intergovernmental Panel on *Climate Change* (IPCC) (AR5: Els RCP es descriuen al número especial del 2011 de la revista *Climatic Change*; les dades es poden obtenir a <<http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps>>. En concret, adoptem una trajectòria per a les emissions de CO₂ basada en l'RCP3-PD, també conegut com *RCP2.6*, l'únic RCP que proporciona un canvi esperat de temperatura no superior a 2°C. El nostre model requereix que les emissions anuals siguin constants dins d'una generació, així com que les emissions i la concentració s'estabilitzin a partir de l'any 2060: adaptem les emissions de l'RCP3-PD a aquests requisits i les calculem fent servir el programa MAGICC 6.4.

GRÀFIC I (continuació)

Les emissions, les concentracions i els canvis de temperatura



Cada gràfic mostra juntes tres trajectòries: l'original RCP3-PD; l'RCP3-estable2060, que només es diferencia de l'RCP3-PD perquè estableix les emissions després de 2060; i la nostra trajectòria generacional, que assigna a cada generació les seves emissions anuals mitjanes d'acord amb l'RCP3-estable2060. Les concentracions de CO₂ i els canvis de temperatura s'obtenen executant MAGICC 6.4 per a cadascuna de les tres trajectòries d'emissions.

La sostenibilitat

El principi de sostenibilitat caracteritza la nostra anàlisi i la diferència de l'enfocament comú en la literatura econòmica.

En altres llocs apareixen dos conceptes de sostenibilitat diferents dels nostres: la sostenibilitat *estricta* (*strong sustainability*) i la sostenibilitat *feble* (*weak sustainability*): vegeu Eric Neumayer (2013). La sostenibilitat estricta apunta a mantenir els entorns naturals, i els seus pobladors vegetals i animals no humans, en l'estat que resultaria en absència de la intervenció de l'espècie humana. La sostenibilitat feble vol mantenir estable un cert índex dels recursos naturals i mediambientals, però admetent un grau de substituïbilitat entre els seus components.

Nosaltres, en canvi, adoptem un punt de vista antropocèntric i ens fixem en el benestar humà, seguint Robert Solow (1993, p. 168): «Suposaré que una trajectòria sostenible per a l'economia nacional és aquella que permet a cada generació futura l'opció de gaudir del mateix nivell de benestar que les que la precedeixen.»

En concret, ens fixem en el creixement sostenible de la qualitat de vida humana, i n'explorem la taxa màxima. Per a justificar el nostre criteri, considerem primer, en un món d'una sola regió, els conceptes que anomenem la *sostenibilitat pura* i la *sostenibilitat del creixement*.

(A) La sostenibilitat pura en un món d'una sola regió

Suposem, de forma provisional, un món senzill, format per una sola regió, on a cada període (o generació) hi viu una persona (o família). La *sostenibilitat pura* cerca el grau de benestar més alt que és factible mantenir per a totes les generacions, la present i les futures.

La sostenibilitat pura es basa en la *teoria de la justícia* de John Rawls (1971). Atès que la data de naixement està fora del control de la persona, pertànyer a una generació determinada és una qüestió simplement de sort, i no és just que la persona en sofreixi les conseqüències, si és que es poden evitar. Per tant, cada generació té dret al mateix nivell de benestar que qualsevol altra. La societat hauria, doncs, de maximitzar el nivell de benestar de la generació més precària.

Es poden contemplar situacions on el principi rawlsià és compatible amb el creixement (vegeu Silvestre, 2002). Però aquest no és el cas en el model que exposem ara. Aquí, la sostenibilitat pura implica que el nivell de benestar de totes les generacions és el mateix, de forma que no hi ha creixement en el nivell de vida de la humanitat.

La raó és que cada generació pot o bé augmentar el benestar de la següent mitjançant un sacrifici en el seu propi benestar (diguem-ne, sacrificant part del seu consum per a invertir més en l'educació de la generació següent) o bé disminuir el de la generació següent en benefici propi.

(B) La sostenibilitat del creixement en un món d'una sola regió

Com acabem de veure, segons el principi rawlsià cada generació té dret a gaudir de la mateixa qualitat de vida que qualsevol altra. Però les persones poden deixar d'exercir els seus drets. En concret, una generació pot renunciar al dret a tenir la mateixa qualitat de vida de qualsevol altra perquè prefereix que les generacions futures gaudeixin d'una qualitat de vida millor que la seva.

De fet, creiem que moltes persones tenen un desig natural perquè la humanitat progressi. Molts dels que tenim fills volem que ells tinguin una vida millor que la nostra. A més a més, molts de nosaltres estem disposats a fer alguns sacrificis en benefici de generacions futures encara que no descendeixin directament de la nostra persona. Ens sembla que existeix una remarcable asimetria entre l'altruisme *geogràfic* i l'*intergeneracional*: molts de nosaltres, que no estem disposats a sacrificar-nos per persones actuals en altres països que ja tenen un nivell de benestar superior al nostre, sí que acceptem un cert sacrifici en benefici de generacions futures que poden molt bé viure millor que no pas nosaltres.

Potser veiem el desenvolupament humà com un *bé públic*, o desitgem que la humanitat assoleixi fites notables, com l'exploració espacial, el descobriment de l'origen de l'univers, l'aprofitament de la fusió nuclear com a font d'energia, l'extensió de l'esperança de vida, la curació del càncer..., i acceptem, per tant, un cert sacrifici en el nostre consum en benefici de la recerca i l'educació dels joves.

No intentem verificar aquesta conjectura: simplement l'adoptem. *La sostenibilitat de creixement a la taxa generacional* ρ requereix que el nivell de

benestar de cap generació futura no sigui inferior al de la generació anterior multiplicat per $1 + \rho$ (ρ és la *taxa* de creixement i $1 + \rho$ el *factor* de creixement).

Però quina és la taxa de creixement «correcta»? La discussió anterior suggereix que dependrà del sacrifici que cada generació estigui disposada a fer en benefici de les generacions que la succeeixen. No intentem resoldre aquesta qüestió, al cap i a la fi empírica. En canvi, resollem el programa d'optimització condicionada per a taxes raonables. Si la taxa fos massa alta, llavors no es podrien satisfer simultàniament totes les restriccions del programa, que en conseqüència no tindria solució.

Remarquem que la sostenibilitat del creixement implica un cert sacrifici per part de la primera generació respecte de la sostenibilitat pura.

(C) La sostenibilitat del creixement en un món de dues regions

Prenem com a punts de partida la trajectòria esmentada d'emissions globals de CO_2 , una taxa ρ de creixement prou baixa perquè el programa d'optimització condicionada es pugui resoldre, i les dotacions inicials al Nord i al Sud de les diverses formes de capital, incloent-hi el capital humà i el coneixement. Imposem la condició que a cadascuna de les regions el nivell de benestar *per capita* d'una generació determinada no sigui inferior al de la generació anterior multiplicat per $1 + \rho$; aquesta condició estén al món de dues regions la sostenibilitat de creixement que acabem de definir.

Qualsevol trajectòria factible que satisfaci aquesta condició junt amb el requisit de convergència presentarà dues etapes:

(A) L'etapa de transició: el nivell de benestar del Nord creix a la taxa ρ . El del Sud, a una taxa superior a fi de convergir amb el nivell de benestar del Nord.

(B) L'etapa de creixement equilibrat: els nivells de benestar del Nord i del Sud són iguals, i creixen a la taxa ρ .

Com ja hem remarcat quan comparàvem la sostenibilitat pura amb la del creixement, una taxa de creixement més alta imposarà un sacrifici a les primeres generacions del Sud respecte d'una taxa més baixa.

Veurem més endavant que no existeixen trajectòries factibles, en el sentit de satisfer les restriccions esmentades, per a taxes de creixement gaire més altes que l'1% anual, que correspon a una taxa generacional r del 28% anual. Aquesta

afirmació és vàlida sigui quina sigui la funció d'objectiu que s'adopti, tema que discutim a continuació.

La funció d'objectiu en l'optimització condicionada

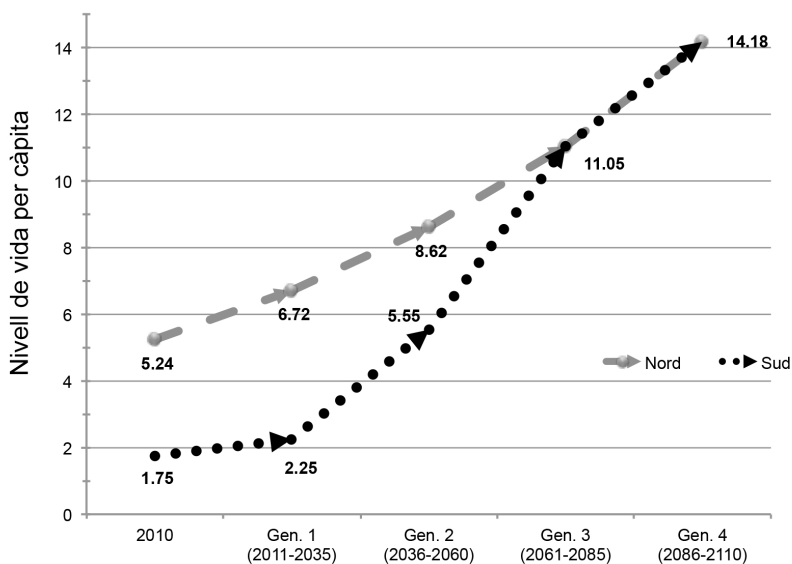
Quin és l'objectiu a maximitzar? Les generacions amb el nivell de benestar més baix són les primeres del Sud. Dins de l'enfocament rawlsià, és el seu nivell de benestar el que caldrà maximitzar.

La solució del programa d'optimització condicionada especifica tant l'assignació òptima de les emissions globals de CO₂ entre el Nord i el Sud com les trajectòries òptimes de totes les variables econòmiques (inversions en capital físic, en educació i en coneixement, fluxos de consum i de lleure...) en les dues regions. Un cop s'arriba al punt de convergència, el nivell de benestar per capita s'igualava a les dues regions. Les variables econòmiques *per capita* també s'igualen i creixen per sempre a la mateixa taxa.

Avençant-nos a la presentació en detall de les nostres conclusions, el gràfic 2 il·lustra les trajectòries òptimes del nivell de vida *per capita* en el Nord i en el Sud.

GRÀFIC 2

Creixement sostenible i convergència



Les limitacions

La validesa dels nostres resultats depèn de la severitat real de les limitacions de la nostra anàlisi. Ens declarem explícitament culpables de les següents:

- Ignorem les desigualtats dins del Nord i dins del Sud.
- No tractem tots els aspectes de la incertesa, i els que tractem ho fem de forma simplificada.
- No tenim en compte les limitacions en altres recursos naturals no renovables.
- Adoptem una funció de producció Cobb-Douglas, cosa que implica que l'elasticitat de substitució entre inputs mediambientals i econòmics és 1.

Els criteris utilitaristes convencionals

El nostre enfocament de sostenibilitat contrasta amb la visió convencional de Nordhaus (2008, 2013), Stern (2007) i la majoria dels economistes que estudien el canvi climàtic. Ells no analitzen trajectòries de l'activitat econòmica que sustenten el benestar humà en cap dels dos sentits de la sostenibilitat, «pura» o «del creixement», que hem definit. En el seu lloc, calculen trajectòries que maximitzen la suma dels nivells de benestar presents i futurs, però aplicant un factor de descompte als nivells futurs. Aquest enfocament s'anomena *utilitarisme amb descompte*, que és una modificació de l'utilitarisme clàssic.

L'utilitarisme clàssic

Abans de John Rawls (1971), *l'utilitarisme* (Jeremy Bentham, John Stuart Mill, Henry Sidgwick) era el punt de vista filosòfic governant en matèria de justícia distributiva. L'utilitarisme manté que la justícia consisteix en la maximització de la *suma de les utilitats* de totes les persones en la societat.⁶ Aplicat a una societat que viu al llarg de moltes generacions, l'utilitarisme vol maximitzar la suma de les utilitats de totes elles.

L'utilitarisme ha estat criticat, per Rawls i per molts altres, per no tenir en compte la desigualtat en la utilitat de diverses persones o, en el nostre cas, diverses generacions. Nosaltres compartim aquesta crítica.

⁶ Recordem que en aquest text entenem *utilitat* com a sinònim de *nivell de benestar* o *qualitat de vida*.

Per exemple, en una societat de dues generacions, la «present» i la «futura», l'utilitarisme preferiria la situació on la utilitat de la present fos 1 i la de la futura 99 (cosa que correspondria a un sacrifici enorme de la generació present, consumint molt poc i dedicant molts recursos a la inversió i l'educació) a la situació on ambdues generacions gaudeixen d'una utilitat de 49. En la primera, la suma d'utilitats és 100, mentre que a la segona és 98, de forma que l'utilitarisme advoca per la primera.

L'utilitarisme amb descompte

L'utilitarisme clàssic sumava directament les utilitats de les diverses persones, perquè, en l'expressió atribuïda a Bentham, «cada persona ha de comptar com a una, i cap no pot comptar com a més d'una». L'utilitarisme amb descompte, en canvi, pondera els nivells de benestar de les generacions futures, de forma que la utilitat d'una persona que viu en un futur llunyà compta *menys* que la d'una que viu abans.

Podem remarcar que un dels principals exponents de l'utilitarisme clàssic, Henry Sidgwick (1907, p. 414), ja es va manifestar en contra de descomptar la utilitat de les generacions futures, si no és per raó de la incertesa: «Sembla, tanmateix, clar que els temps en què un home existeix no poden afectar el valor de la seva felicitat des d'un punt de vista universal; i que els interessos de la posteritat deuen preocupar un Utilitarista tant com els dels seus contemporanis, excepte que l'efecte de les seves accions sobre la posteritat —i fins i tot l'existència d'éssers humans que en poden estar afectats— ha de ser necessàriament més incert.»

Perquè es descompta la utilitat de les generacions futures? Trobem en la literatura les tres idees següents.⁷

a) La justificació del descompte per la impaciència individual

De vegades s'intenta justificar el descompte de les utilitats de les generacions futures per analogia amb la impaciència en les preferències d'un individu. Una formulació raonable, no l'única, però popular, de les preferències d'una persona que viu durant un cert nombre de períodes és la suma, al llarg de la seva vida, de les utilitats per període descomptades: com més llunyà el període, menys compta en la suma. L'explicació és la impaciència. Mirat des d'avui, una persona pot molt

⁷ Deixem de banda una altra raó, purament matemàtica, que té a veure amb les sumes infinites.

bé considerar que el consum diguem-ne d'una xocolata ara té més valor, i està disposada a pagar-ne ara un preu superior que el que pagaria ara per una xocolata similar lliurada d'aquí a deu anys. En paraules d'Arthur Pigou (1920 [1929, p. 24-25]): «En general, tothom prefereix plaers o satisfaccions d'una magnitud donada a plaers o satisfaccions futures de la mateixa magnitud, fins i tot quan les darreres ocorreran amb total certesa. [...] [Això] només vol dir que la nostra capacitat telescòpica és defectiva, i que, per tant, és com si veiéssim els plaers futurs en una escala reduïda.»

Un seguit d'economistes fan el salt, creiem que injustificat, del model raonable d'una persona que maximitza la suma descomptada de les seves utilitats durant els períodes de la seva vida a la conclusió que la societat ha de maximitzar la suma descomptada de les utilitats de les generacions futures —com si aquestes generacions fossin les fases de la vida d'un ésser de llarga durada.

b) La justificació del descompte per la incertesa sobre el futur de la humanitat

La incertesa sobre la data de la mort pot ser un factor, perfectament vàlid, en el descompte de la utilitat futura de l'individu: potser ja no serà en aquest món dins de deu anys per a poder gaudir de la xocolata. De la mateixa manera, l'espècie humana desapareixerà tard o d'hora, però no sabem quan. Tot simplificant, podem modelar això dient que hi ha una probabilitat π fixa que cada generació, condicionada al fet que encara existeixi, serà l'última. Un planificador social utilitari que desitgi maximitzar la suma de les utilitats de totes les generacions tenint en compte el procés estocàstic descrit haurà de maximitzar la suma descomptada d'utilitats generacionals.

Dins de l'òptica utilitarista general (que, cal repetir-ho, nosaltres no compartim), la incertesa sobre el futur de la humanitat aporta una justificació legítima a descomptar la utilitat de les generacions futures. Com veurem més endavant, Stern (2007) adopta aquest enfocament.

c) La justificació del descompte perquè les generacions posteriors estaran millor

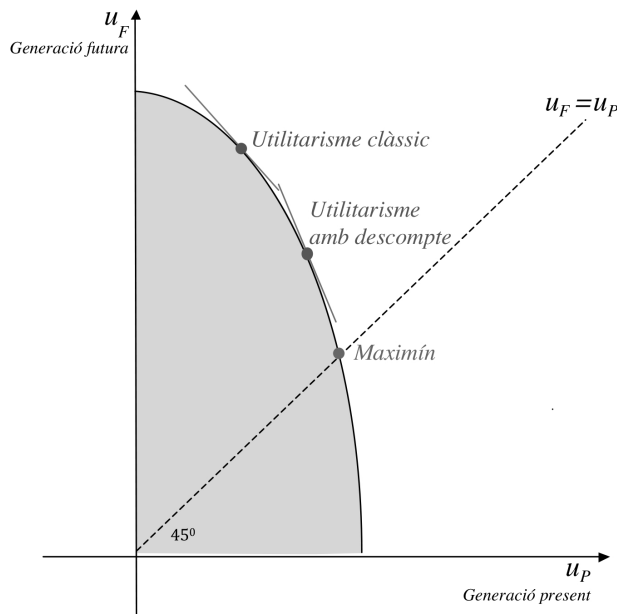
Aquest argument, que per popular no deixa de ser curiós, intenta suavitzar les desigualtats entre generacions que l'utilitarisme clàssic pot generar. La idea és que, atès que les generacions futures estaran millor que la present, les hem de

penalitzar mitjançant el descompte de la seva utilitat en el càlcul de l'objectiu social.

L'argument per a penalitzar les generacions futures en l'objectiu social utilitarista es pot presentar de la forma simplificada següent. Considerem de nou una societat de dues generacions, la «present» i la «futura», on es vol maximitzar la funció d'objectiu social utilitarista subjecte a les condicions de factibilitat donades per la tecnologia i els recursos, condicions que inclouen la dependència del progrés tècnic de les inversions en ciència, coneixement, recerca i desenvolupament. Representem gràficament el conjunt factible, usualment anomenat *conjunt de les utilitats possibles*, en una figura on a l'eix de les abscisses tenim la utilitat, o nivell de benestar, de la generació present (u_p) i al de les ordenades, la de la generació futura (u_f). Un determinat punt en el conjunt representa un parell de valors d'utilitat, el primer per a la generació present i el segon per a la futura, que seria assolible mitjançant un pla de consum i inversió que estigués d'acord amb els recursos existents i amb les possibilitats tecnològiques.

GRÀFIC 3

El conjunt de les utilitats possibles en un món de dues generacions amb progrés tecnològic

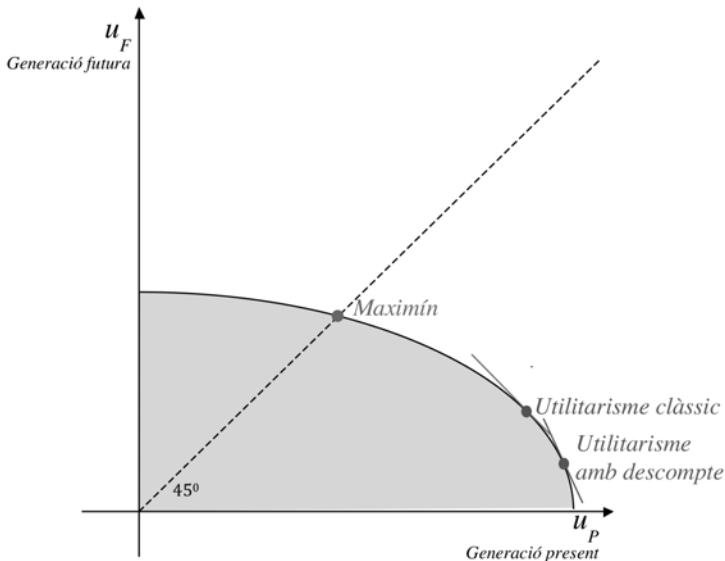


El gràfic 3 ofereix un conjunt de les utilitats possibles imaginable. Maximitzar la suma sense descompte, $u_p + u_F$, de les utilitats subjecte al conjunt de possibilitats d'utilitat vol dir triar el punt on el pendent de la corba que defineix la frontera del conjunt és igual a -1 . Això comporta un nivell de benestar molt alt per a la generació futura, i molt baix per a la present (punt «utilitarisme clàssic» al gràfic). Per a suavitzar aquesta desigualtat, triem un nombre $k < 1$ i maximitzem $u_p + k u_F$ en lloc de $u_p + u_F$. La solució ara estarà situada més a prop de la recta de 45° (punt «utilitarisme amb descompte» al gràfic).

El problema amb aquesta argumentació és que es basa en un supòsit particular sobre la forma del conjunt de les utilitats possibles expressat en el gràfic 3. Si, en canvi, aquest conjunt tingués la forma del gràfic 4 (diguem-ne que el consum de la generació present destrueix el medi ambient i degrada les possibilitats de la generació futura), llavors descomptar la utilitat de la generació futura duria a un punt amb *més desigualtat* que si maximitzéssim la suma d'utilitats sense descompte. Per a reduir la desigualtat de la maximització de $u_p + u_F$, caldria maximitzar $u_p + q u_F$ amb un factor $q > 1$!

GRÀFIC 4

El conjunt de les utilitats possibles en un món de dues generacions amb progrés tecnològic



En resum, decidir sobre un factor de descompte dependent de la forma del conjunt factible equival a passar l'arada davant els bous. La decisió sobre com descomptar la utilitat de les generacions futures s'hauria de basar en criteris ètics bàsics, no de forma *ad hoc* en la situació econòmica que trobem.

Nordhaus i Stern

Nordhaus i Stern són membres prestigiosos del grup d'economistes que estudien les conseqüències dels gasos d'efecte hivernacle: tots dos adopten el principi de l'utilitarisme amb descompte, i tots dos se situen a l'avantguarda de la lluita intel·lectual enfront del canvi climàtic.

Però presenten entre ells dues diferències importants. Primer, Nordhaus fa una avaluació menys severa que no pas Stern dels danys econòmics causats per l'augment de temperatura i l'acidificació des oceans. Segon, Nordhaus adopta una taxa de descompte dels nivells de benestar de les generacions futures molt més alta que Stern (és a dir, la utilitat de les generacions futures compta menys per a Nordhaus que per a Stern). En conseqüència, Nordhaus proposa mesures per a combatre el canvi climàtic menys estrictes i, sobretot, menys urgents que no pas Stern.

Les justificacions respectives per a la taxa de descompte són prou diferents. Nordhaus tria aquesta taxa segons la impaciència dels consumidors i inversors de la generació present expressada per les taxes d'interès en els mercats financers. Stern, com hem indicat en la justificació *b* del descompte, la tria segons la probabilitat d'extinció de l'espècie humana.

Discrepem de l'elecció de la taxa de descompte de Nordhaus perquè, com ja hem mencionat en la discussió de la justificació *a* del descompte, refusem l'analogia entre l'espècie humana, que viu durant moltes generacions, i un individu que viu durant molts anys. Creiem que la impaciència de la generació actual respecte al seu benestar en anys futurs de la seva vida és èticament irrellevant per a l'assignació de recursos entre les generacions.

Estem d'acord amb Stern que les incerteses sobre l'existència de les generacions futures són pertinents per a l'anàlisi. Però defensem el nostre enfocament de sostenibilitat davant l'utilitarista tant de Nordhaus com de Stern, atesa la indiferència de la filosofia utilitarista envers la desigualtat.

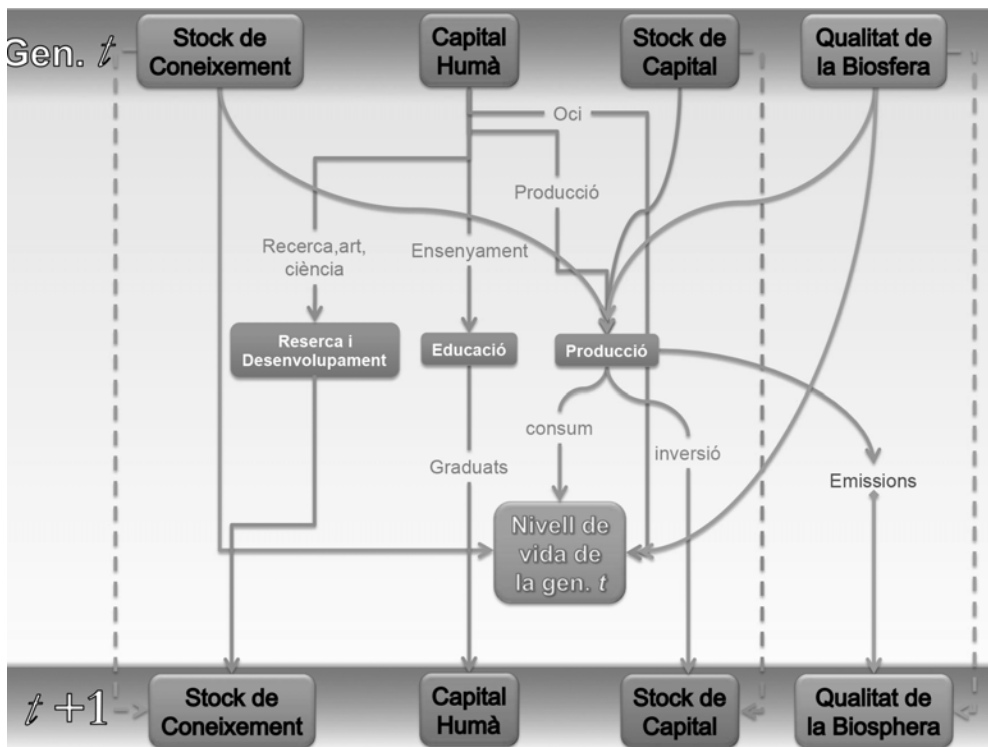
El model

Construïm i calibrem un model dinàmic que incorpora variables econòmiques i mediambientals. El model inclou la funció d'objectiu, les restriccions tecnològiques i les relacions amb les emissions i concentracions de CO₂ (gràfic 5).

Dividim el món en dues regions, Nord i Sud, seguint la distinció de les Nacions Unides entre «regions més desenvolupades» i «regions menys desenvolupades». Prenem una persona representativa per cada generació de cadascuna de les regions, i utilitzem les projeccions de les Nacions Unides (2013) per a descriure l'evolució exògena de la població.

GRÀFIC 5

Diagrama de fluxuos de l'activitat econòmica de la generació t a la generació t + 1 per a una regió tancada



La funció d'objectiu

La nostra funció d'objectiu és el nivell de vida de la persona representativa que, en l'esperit de l'índex de desenvolupament humà, és una funció de diversos components.⁸ El primer argument és el consum, però també hi inclouem l'educació (que modifica el valor del temps de lleure), el coneixement (que representa l'estoc cultural i científic, i indirectament les millores en salut i esperança de vida) i la qualitat de la biosfera. La presència de la qualitat de la biosfera en la funció d'objectiu captura la nostra visió que la deterioració mediambiental i l'extinció d'espècies són mals públics que afecten directament el benestar humà (i també la producció, com veurem més endavant).

Les trajectòries factibles

Les trajectòries factibles es caracteritzen per les restriccions econòmiques i mediambientals. Les variables mediambientals són les emissions i nivells de concentració de CO₂. La nostra anàlisi adopta una trajectòria d'emissions globals exògena basada en l'RCP2.6 amb un augment esperat de temperatura que es manté sota els 2°C (gràfic 1). Però la distribució de les emissions entre les regions es determina de manera endògena a través el programa d'optimització.

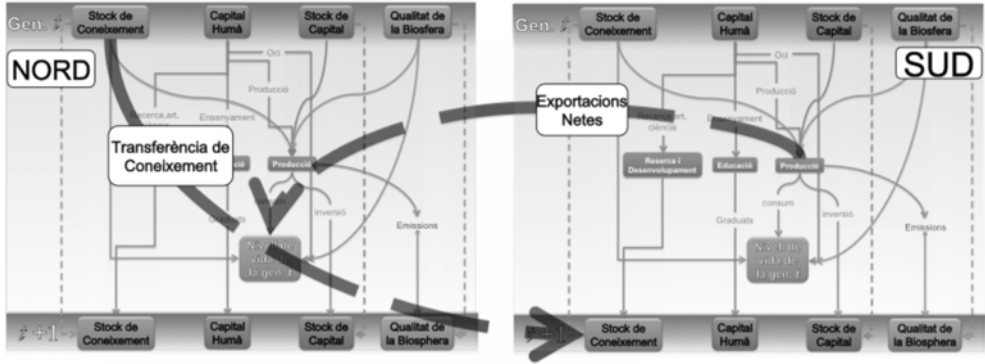
El gràfic 5 representa el diagrama de fluxos econòmics i mediambientals. Cada generació de cadascuna de les regions hereta quatre estocs de la generació anterior: capital físic, capital humà, coneixement i qualitat de la biosfera. Està subjecta a les restriccions econòmiques següents: la funció de producció del bé de consum i inversió (que incorpora les restriccions tecnològiques); les lleis d'evolució del capital físic, del coneixement i la difusió tecnològica, i la funció de producció de capital humà.

El bé agregat que es destina a consum o inversió en capital físic es produeix utilitzant capital físic, capital humà, coneixement i emissions de CO₂, segons descriu la funció de producció. El nivell de concentració de CO₂ a l'atmosfera afecta negativament la producció, representant una funció de dany que redueix la capacitat de producció. Atès que permetem transferències del bé de producció entre les regions, la suma del consum i inversió en una regió no està restringida al nivell de producció d'aquesta regió (gràfic 6).

⁸ Per al calibratge del model adoptem una funció Cobb-Douglas amb exponents positius i normalitzats perquè sumin 1.

GRÀFIC 6

Diagrama de fluxos de l'activitat econòmica de la generació t a la generació $t + 1$ per a dues regions amb exportacions del bé de consum i difusió del coneixement



El capital físic segueix una llei estàndard: es deprecia a una taxa fixa i augmenta amb la inversió. L'estoc de coneixement també es deprecia a una taxa fixa, però no necessàriament igual a la del capital físic, i s'incrementa amb la inversió de capital humà en recerca i desenvolupament. A més a més, la llei d'evolució del coneixement del Sud incorpora la presència de la difusió tecnològica internacional. En concret, la capacitat de difusió depèn de la bretxa entre els nivells de coneixement del Nord i del Sud i de la quantitat de capital humà destinada pel Sud a investigació i desenvolupament. Això permet que la inversió en capital humà acceleri la difusió de coneixement, un efecte conegut com la hipòtesi de *technological catch-up* de Nelson-Phelps (Nelson i Phelps, 1966; Benhabib i Spiegel, 2005).

La funció de producció d'educació genera el capital humà, mesurat en unitats eficients de treball. Com que el nostre model és generacional, la funció de producció d'educació no es pot interpretar exactament igual que en altres models d'inversió en capital humà on hi ha un agent representatiu que viu infinitament, i on el temps és continu. Primer, l'educació de la generació jove requereix treball de la generació anterior, però no requereix capital físic. Segon, interpretem les hores de treball en la producció d'educació com les dels mestres i professors, i no les dels alumnes. Finalment, veiem l'educació d'una generació com una inversió social. La nostra formulació està, doncs, d'acord amb les interpretacions d'Uzawa (1965), Lucas (1988) i Barro i Sala i Martín (1999). L'estoc de capital

humà d'una generació es destina al lleure, que afecta directament el nivell de vida, a la producció del bé de consum i inversió, a l'educació i a la generació de coneixement.

Resultats⁹

El nostre programa busca nivells sostenibles del creixement en un món de dues regions, d'acord amb la concepció de sostenibilitat que hem presentat abans. L'optimització es basa en dos resultats teòrics importants. Per una banda, l'existència d'un raig de creixement equilibrat que depèn de la taxa de creixement ρ , de manera que si els estocs inicials es troben a aquest raig, la solució de l'optimització dona una trajectòria de creixement sostenible on el nivell de vida creix a la taxa ρ (teorema 3.1 a Llavador *et al.*, 2015b). Per altra banda, demostrem un teorema de *turnpike* segons el qual si els estocs inicials no es troben al raig de creixement equilibrat, llavors la trajectòria d'optimització convergeix a un punt del raig de creixement equilibrat (teorema 2.1 a Llavador *et al.*, 2015b).

El programa d'optimització adopta una taxa ρ de creixement del nivell de vida i escull entre les trajectòries factibles aquella que maximitza el nivell de vida de la segona generació del Sud, amb la restricció que el nivells de vida en ambdues regions han de créixer si més no a la taxa ρ durant les dues primeres generacions, i que, a final del període 2, les regions acabin al raig de creixement equilibrat i amb els mateixos estocs *per capita*.¹⁰ Per tant, a partir del període 3 (és a dir, del 2085), els nivells de vida seran iguals en ambdues regions, i cadascuna de les regions continuarà creixent a la taxa ρ .

Resultat principal de la nostra anàlisi

Es pot sostenir a llarg termini un creixement anual del nivell de vida de l'1% amb convergència entre Nord i Sud en tres generacions (setanta-cinc anys), mentre es mantenen les emissions globals de CO₂ a quantitats compatibles amb l'RCP2.6, que suposen un escalfament global de menys de 2°C.

⁹ Els detalls tècnics de l'optimització, així com els procediments i valors del calibratge, es troben a LLAVADOR *et al.* (2015b).

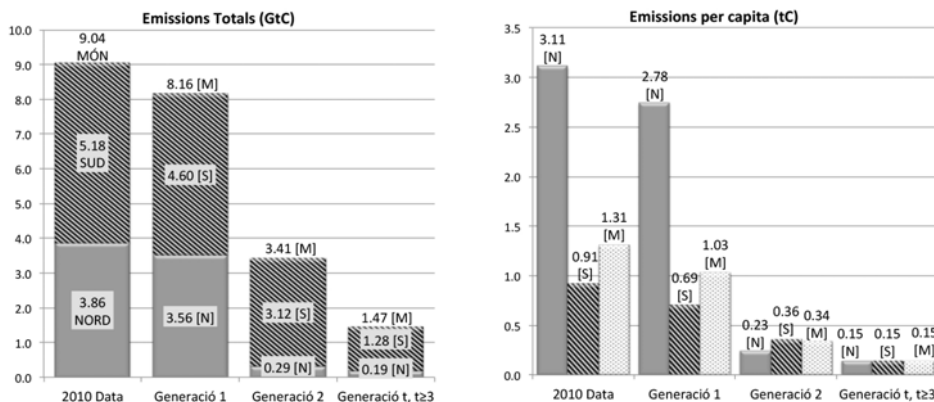
¹⁰ Prenem el 2010 com a any de referència.

Però no existeixen solucions factibles si volem que Nord i Sud creixin a taxes anuals substancialment més altes que l'1,1 %.

Les trajectòries òptimes del nivell de vida *per capita* al Nord i al Sud estan representades al gràfic 2. Com es pot apreciar, la trajectòria temporal té dues fases diferents: la fase convergent de transició ($t = 1, 2$) i la fase de creixement estacionari ($t \geq 3$). Destaquem que, a la fase de creixement estacionari, tant el Nord com el Sud han d'augmentar substancialment el capital humà en coneixement (2 i 3,5 cops, respectivament), i que el Sud ha d'augmentar en un 48 % el seu capital humà en educació. Finalment, el creixement estacionari requereix que el Nord i el Sud tinguin les mateixes emissions per unitat de producte i les mateixes emissions *per capita*, mentre que el 2010 (l'any de referència) el Nord té emissions per unitat de producte més baixes, però emissions *per capita* més altes. El gràfic 7 representa la distribució d'emissions entre les dues regions en termes absoluts i *per capita*.

GRÀFIC 7

*Emissions anuals de CO₂ totals i per capita (Nord, Sud i mundials).
World Resource Institute, 2013*



El pressupost de carboni

El pressupost de carboni associat als dos graus d'escalfament sobre els nivells preindustrials s'ha convertit en un punt focal a la literatura sobre la reducció i distribució d'emissions de CO₂, com demostra que l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) l'inclogui per primera vegada en el seu darrer informe

AR5. El pressupost de carboni representa la quantitat total de CO_2 que es pot emetre en un període de temps per mantenir l'augment de temperatura sota una xifra determinada.

Utilitzant el concepte del *pressupost de carboni*, podem calcular els drets d'emissió que li corresponen a cada regió i, comparant-los amb les emissions al llarg de la nostra trajectòria òptima, calcular quines serien les transferències de llicències d'emissió d'una regió a l'altra. Finalment, amb una estimació del cost social del carboni, podem obtenir el valor monetari d'aquestes transferències. Realitzem aquesta anàlisi per al període entre 1990 i 2050. El 1990 es va publicar el primer informe de l'IPCC, i es pot considerar com el moment en què els països van ser conscients de la necessitat de reduir emissions i, per tant, se'ls pot fer responsables de les seves emissions d'aquell any ençà.

Procedim en quatre etapes:

1. En primer lloc obtenim el pressupost de carboni per al període 1990-2050 d'acord amb l'RCP2.6, que dona unes emissions totals de $C^W = 404,4 \text{ GtC}$ ($1,482 \text{ GtCO}_2$).
2. Assignem al Nord i al Sud la part corresponent d'emissions en proporció a la seva població l'any 1990. Com que al Nord hi habitava un 22% de la població mundial, el pressupost de carboni per al Nord és de $C^N = 87,2 \text{ GtC}$ (320 GtCO_2), és a dir un 22% del pressupost total, mentre que al Sud li corresponen $C^S = 317,3 \text{ GtC}$ ($1,163 \text{ GtCO}_2$).
3. Com que la nostra trajectòria comença el 2010, descomptem les emissions fins a aquest any: al Nord i al Sud. Per tant, el pressupost de carboni restant per al període 2011-2050 és de 255 GtC totals (935 GtCO_2), dels quals $7,2 \text{ GtC}$ (26 GtCO_2) li pertocuen al Nord i $247,9 \text{ GtC}$ (909 GtCO_2) al Sud. En termes percentuals, el Nord pot emetre un 2,8% de les emissions totals durant el 2011-2050 i el Sud, el 97,2% restant.
4. Finalment, utilitzem aquests percentatges per a l'assignació dels drets d'emissió de cada generació d'acord amb l'RCP2.6. Per exemple, com que les emissions globals assignades a la primera generació són de $203,8 \text{ GtC}$ i al Nord li pertoca un 2,8% del pressupost, la primera generació del Nord ha de rebre drets per $5,7 \text{ GtC}$ (o 21 GtCO_2).

TAULA I

Drets d'emissió i emissions durant el període de convergència al llarg de la trajectòria òptima. Emissions de CO₂ en GtC

	Drets d'emissió d'acord amb el pressupost de carboni (1)	Emissions assignades per la trajectòria òptima (2)	Diferència (1) – (2)
2011-2035 Nord	5,7	87,7	-82
2011-2035 Sud	198,1	116,1	82
2036-2050 Nord	1,4	4,7	-3,3
2036-2050 Sud	49,8	46,5	3,3

La taula 1 presenta l'assignació de drets per a cada generació de cada regió i els compara amb les emissions assignades al llarg de la trajectòria òptima sostenible. Si la diferència entre els drets assignats i les emissions és negativa, aquesta regió ha de comprar drets d'emissió a l'altra (tercera columna). Fent els càlculs en termes anuals, podem observar que el Nord ha de comprar 3,2 GtC per any durant la primera generació (2011-2035) i 0,13 GtC per any durant la segona generació, aquesta truncada el 2050.

El càlcul de la transferència monetària associada a aquesta compra de drets d'emissió requereix un preu pel carboni o, més concretament, una estimació del cost social marginal del carboni. Aquest és un tema altament controvertit. Utilitzant un rang de 32 dòlars a 103 dòlars per tC, equivalent a 128-412 dòlars per GtCO₂ (Dietz i Stern, 2015), la transferència del Nord al Sud hauria de ser d'entre 102.000 milions de dòlars i 330.000 milions de dòlars anuals per a la primera generació.¹¹ Aquesta xifra es pot comparar amb el Green Planet Fund (<http://www.greenclimate.fund>), que persegueix mobilitzar 100.000 milions anuals per a programes de mitigació i adaptació cap al 2020, una quantitat que es considera molt conservadora.

¹¹ Altres estimacions del cost social del carboni menys conservadores pugen fins als 220 dòlars per tC (MOORE i DIAZ, 2015), que equivaldrien a una transferència de 700.000 milions de dòlars anuals per la primera generació.

Els acords COP21

A l'última reunió del *Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic* (CMNVCC) *Conferència de les Parts* (COP21), el desembre del 2015 a París, es va prendre un nou acord mundial, conegut com l'*Acord de París*. Representa la iniciativa més recent per a reduir emissions a escala global i pal·liar les conseqüències del canvi climàtic. Es pot comparar la nostra trajectòria d'emissions amb les derivades d'aquest acord, representades per les *intended nationally determined contributions* (INDC)? Resulta, com expliquem a continuació, que les INDC estan molt lluny d'una trajectòria sostenible que garanteixi un escalfament per sota dels 2°C, cosa que fa impossible la comparació.

Utilitzem l'anàlisi de les INDC pel *carbon budget accounting tool* (CBAT 2016 <http://www.gci.org.uk/INDCs.html>). D'aquests càlculs es deriva que les emissions que els països s'han compromès voluntàriament a emetre per al període 2010-2030 sumen un total de 272 GtC. Aquesta xifra està ja per amunt del pressupost de carboni per al període 2010-2050 de l'RCP2.6, que hem calculat abans en 255 GtC i que s'adiu amb les trajectòries proposades per l'IPCC AR5 segons les quals, amb una probabilitat del 66 %, no se sobrepassaran els 2°C d'escalfament global.

Conclusió

El nostre treball presenta i defensa una aplicació dels principis igualitaris com a guia de resposta al canvi climàtic produït per l'emissió de gasos d'efecte hivernacle. La sostenibilitat és el resultat de l'aplicació d'aquests principis d'igualtat en una societat intergeneracional: cada generació té dret al nivell de vida més alt que sigui factible per a tothom. Aquesta proposta estén el concepte de *sostenibilitat unidireccional* de Robert Solow (cada generació ha de gaudir d'un nivell de vida almenys tan alt com el de la generació anterior), afegint-hi que cada generació també té dret a gaudir d'un nivell de vida tan alt com el de la generació següent. Aquest principi implica una societat sense creixement, sense desenvolupament humà. Argumentem, però, que la humanitat desitja aquest desenvolupament, i, per tant, les generacions no exigiran el seu dret i estaran disposades a renunciar a part del seu nivell de vida per a propiciar el desenvolupament humà. Aquest

argument justifica la nostra proposta de creixement sostenible: trobar la trajectòria factible que garanteixi una taxa de creixement del nivell de vida de cada generació a la següent.

El nostre plantejament s'allunya de l'anàlisi dominant en diversos aspectes:

1. intergeneracionalment, advoquem per la sostenibilitat, en contraposició a l'utilitarisme amb descompte;
2. intrageneracionalment, advoquem per la convergència, i
3. la nostra funció d'objectiu adopta una visió més completa del benestar humà, ja que hi inclou com a factors el lleure, l'educació, el coneixement i la qualitat mediambiental, a més a més del consum.

La nostra anàlisi adopta la trajectòria d'emissions i concentracions de l'RCP2.6, i analitza com s'haurien d'assignar les emissions entre les diverses regions del món (reduïdes a dues) per a convergir en una trajectòria de creixement sostenible que satisfaci un seguit de restriccions físiques i ètiques.

Per una banda, la nostra anàlisi és més modesta que la dels models d'avaluació integrada, atès que adoptem una trajectòria d'emissions globals de CO₂ amb l'objectiu de no sobrepassar els 2 °C d'escalfament.¹² Per l'altra banda, el nostre model és molt més complet que la majoria dels models d'avaluació integrada en altres dimensions, principalment perquè modelem el progrés tecnològic com a endogen, emfatitzant així la importància de l'educació i la creació de coneixement tant en la producció i la innovació tecnològica com en el nivell de vida.

El resultat principal estableix que és factible sostenir un creixement moderat del nivell de vida, entorn de l'1 % anual en el Nord i a taxes més altes al Sud fins que el seu nivell de vida convergeixi amb el del Nord, mentre es manté un escalfament global per sota del 2 °C a llarg termini. Però taxes de creixement a llarg termini més enllà de l'1,1 % anual no són factibles, en el sentit de satisfer les restriccions tecnològiques i de recursos. Durant la transició, el Nord ha de reduir dràsticament la seva contribució a les emissions globals, el Nord i el Sud

¹² És clarament possible incloure un model climàtic d'emissions i concentracions en la nostra anàlisi, convertint-la en un model d'avaluació integrada. Però hem optat per no fer-ho en aquest estudi ateses les enormes incerteses en la quantificació dels efectes de l'augment de la temperatura en el nivell de vida de les persones.

han d'incrementar les seves inversions en coneixement, i el Sud ha d'invertir fortament en educació.¹³

Per tant, es deriva de la nostra anàlisi que el Nord i el Sud han de reduir substancialment les seves expectatives de creixement. Si els líders polítics volen solucionar el problema de l'escalfament global, han de conscienciar les seves societats de la realitat d'un creixement més lent. La nostra recomanació de reduir el creixement està en línia amb les d'altres autors (Skidelsky i Skidelsky, 2012; Gordon, 2012; Rogoff, 2012), que han defensat un creixement limitat per altres raons.

A més a més, la nostra anàlisi evidencia la necessitat que tant el Nord com el Sud admetin honestament la connexió entre les reduccions d'emissions necessàries per a combatre el canvi climàtic i la moderació en el creixement. El creixement econòmic i l'assignació de drets d'emissió s'han de tractar i resoldre conjuntament. Estan íntimament lligats i és ingenu suposar que podem negociar o resoldre'n un sense considerar l'altre.

Concloem amb una nota sobre el nivell d'abstracció a la nostra anàlisi. Com que la nostra intenció ha sigut centrar-nos en la gran qüestió de com assignar les emissions entre les diferents regions del món i les diverses generacions, hem ignorat una microanàlisi més profunda de les possibilitats d'energia neta i les mesures concretes que permetin la implementació regional d'emissions a través d'impostos o mercats de drets d'emissió. Òbviament, aquestes són àrees molt rellevants, però creiem que hauria de ser prioritari definir la trajectòria desitjada d'emissions de CO₂ i l'assignació de drets d'emissió entre regions i generacions. En qualsevol cas, ens mantenim oberts de mires.

Bibliografia

BARRO, Robert J.; SALA I MARTÍN, Xavier (1999). *Economic growth*. Cambridge, MA: MIT Press.

¹³ Els resultats són qualitativament robusts respecte a hipòtesis alternatives sobre exportacions, difusió del coneixement i valors dels paràmetres.

- BENHABIB, Jess; SPIEGEL, Mark (2005). «Human capital and technology diffusion. A: AGHION, Philippe; DURLAUF, Steven N. (ed.). *Handbook of economic growth*. Vol. 1A. Amsterdam: Elsevier, p. 935-966.
- DIETZ, Simon; STERN, Nicholas (2015). «Endogenous growth, convexity of damage and climate risk: how Nordhaus' framework supports deep cuts in carbon emissions», *The Economic Journal*, vol. 125, núm. 583, p. 574-620.
- GORDON, Robert J. (2012). «Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds». NBER Working Paper, 18315.
- LLAVADOR, Humbert; ROEMER, John E.; SILVESTRE, Joaquim (2010). «Intergenerational justice when future worlds are uncertain». *Journal of Mathematical Economics*, vol. 46, núm. 5, p. 728-761.
- (2011a). «A dynamic analysis of human welfare in a warming planet». *Journal of Public Economics*, vol. 95, núm. 11, p. 1607-1620.
- (2011b). «Sustainability in the presence of global warming: theory and empirics.» Human Development Programme, Human Development Reports, Research Paper 2011-5, Nova York: UNDP-HDRO. També disponible en línia a: <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2011/papers/HDRP_2011_05.pdf>.
- (2013). «Should we sustain? And if so, sustain what? Consumption or the quality of life?». A: FOUQUET, Roger (ed.). *Handbook on energy and climate change*. Cheltenham, RU: Edward Elgar.
- (2015a) «North-south convergence and the allocation of CO₂ emissions». *Climatic Change*, vol. 130, núm. 3, p. 383-395.
- (2015b). *Sustainability for a warming planet*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- LUCAS, Robert E. Jr. (1988). «On the mechanics of economic development». *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, núm. 1, p. 3-42.
- MOORE, France C.; DIAZ, Delavane B. (2015). «Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy». *Nature Climate Change*, vol. 5, núm. 2, p. 127-131.

- NACIONS UNIDES (2013). *World population prospects: The 2012 revision* [en línia]. <<http://esa.un.org/unpd/wpp>> [Consulta: 8 agost 2013].
- NELSON, Richard R.; PHELPS, Edmund S. (1966). «Investment in humans, technological diffusion, and economic growth». *American Economic Review*, vol. 56, núm. 2, p. 69-75.
- NEUMAYER, Eric (2013). *Weak versus strong sustainability: Exploring the limits of two opposing paradigms*. 4a ed. Cheltenham, RU: Edward Elgar.
- NORDHAUS, William D. (2008). *A question of balance: Weighing the options on global warming policies*. New Haven, CT: Yale University Press.
- (2013). *The climate casino: Risk, uncertainty and economics for a warming world*. New Haven, CT: Yale University Press.
- NORDHAUS, William D.; BOYER, Joseph (2000). *Warming the world: Economic models of global warming*. Cambridge, MA: MIT Press.
- PIGOU, Arthur C. (1920). *The economics of welfare* [3a ed.: 1929]. Londres: Macmillan.
- RAWLS, John (1971). *A theory of justice*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ROEMER, John E. (2011). «The ethics of intertemporal distribution in a warming planet». *Environmental and Resource Economics*, vol. 48, núm. 3, p. 363-390.
- ROGOFF, Kenneth (2012). «Rethinking the growth imperative». *Project Syndicate* [en línia]. <<http://www.project-syndicate.org/commentary/rethinking-the-growth-imperative>> [Consulta: 20 juny 2013].
- SIDGWICK, Henry (1907). *The methods of ethics*. Londres: Macmillan.
- SILVESTRE, Joaquim (2002). «Progress and conservation under Rawls's maximin principle». *Social Choice and Welfare*, vol. 19, núm. 1, p. 1-27.
- (2011). «Intergenerational equity in a warming planet». *Catalan International View*, núm. 9, p. 66-71.
- SKIDELSKY, Robert; SKIDELSKY, Edward (2012). *How much is enough?* Nova York: Other Press.

- SOLOW, Robert (1993). «An almost practical step toward sustainability». *Resources Policy*, núm. 19, p. 162-172.
- STERN, Nicholas (2007). *The economics of climate change: The stern review*. Cambridge RU: Cambridge University Press.
- UZAWA, Hirofumi (1965). «Optimal technical change in an aggregative model of economic growth». *International Economic Review*, núm. 6, p. 18-31.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (2013). *Climate analysis indicators tool (CAIT 2.0)* [en línia]. <<http://cait2.wri.org/wri>> [Consulta: 8 agost 2013].