

# WILLIAM NORDHAUS

## I L'ECONOMIA DEL CANVI CLIMÀTIC

HUMBERTO LLAVADOR, Universitat Pompeu Fabra  
i Barcelona GSE

10 de desembre de 2018

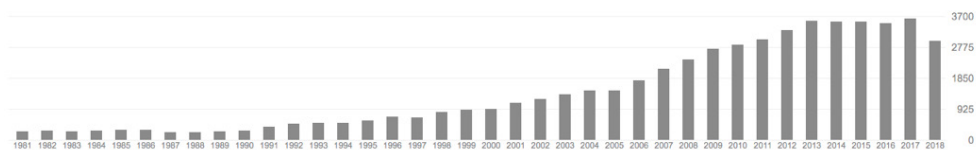
### Introducció

L'Sveriges Riksbanks Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel, més conegut com el Nobel d'Economia, reconeix el 2018 les contribucions de William Nordhaus i Paul Romer en l'àrea del creixement econòmic. En aquest article, preparat per la conferència del 10 de desembre de 2018 a l'Institut d'Estudis Catalans, em centraré en la figura de Nordhaus. Les aportacions de Paul Romer s'explicaran en una altra xerrada. Però no vull deixar passar l'oportunitat d'assenyalar allò pertinent d'aquest premi compartit en tant que emfasitza l'íntima relació entre el canvi climàtic i el creixement econòmic, un tema del qual ja he escrit en altres ocasions (Llavador, Roemer i Silvestre 2015b). De fet, tots dos guardonats van coincidir en la importància d'aquest punt a entrevistes que van fer just després de tenir coneixement del premi.

Dels aspectes biogràfics de William Nordhaus n'esbossaré només quatre línies per situar-lo acadèmicament. Nordhaus és Sterling Professor of Economics at Yale University, on va arribar el 1967 després d'acabar el seu doctorat al MIT. Va ser membre del Council of Economic Advisers entre el 1977 i el 1979 durant l'administració Carter. L'any 2004 va ser designat Distinguished Fellow de l'American Economic Association, on el van caracteritzar molt adientment pel seu «*knack for asking large questions about the measurement of economic growth and well-being, and addressing them with simple but creative insights*». La seva recerca està dominada per l'anàlisi de l'economia del canvi climàtic, que és finalment la

raó per la qual ha rebut enguany, als seus 77 anys, el Nobel d'economia. De fet, com a curiositat, l'evolució de les seves cites representa molt bé l'evolució de la rellevància de la temàtica del canvi climàtic (Figura 1), encara que no és res més que una mera correlació.

FIGURA 1  
*Nombre de cites per any d'articles de William Nordhaus*



Font: Google Scholar (consultat el 8 de desembre de 2018).

## La contribució de Nordhaus: *Els Integrated Assessment Models* DICE i RICE

### *Integrated Assessment Models*

Com assenyala la nota de premsa, el premi Nobel se li concedeix a Nordhaus pel seu esforç en crear un *Integrated Assessment Model* (IAM) integrant teories i resultats empírics de la física, la química i l'economia.<sup>1</sup> Aquests models són «*integrated*» perquè combinen un model econòmic de creixement i un model físic del clima, sense respectar les fronteres de les disciplines acadèmiques. Són un «*assessment*» perquè el seu objectiu és generar informació valuosa per a la presa de decisions de política econòmica i mediambiental. I, finalment, l'anàlisi es basa en càlculs numèrics de «*models*» calibrats d'acord amb les dades històriques disponibles. No hi ha acord en identificar al primer IAM, però van popularitzar-se als 80 i, des del seu primer informe, l'IPCC els va utilitzar extensament per inferir les seves conclusions. Juguen, en conseqüència, un paper crucial en l'anàlisi de l'economia del canvi climàtic.

<sup>1</sup> <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/press-release/>. Accés el 2 de desembre de 2018.

## DICE i RICE

Els IAMs creats per Nordhaus es coneixen com el DICE (*Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*) i el RICE (*Regional Integrated model of Climate and the Economy*). La primera versió del DICE és del 1992, explicada extensament al llibre *Managing the Global Commons* (Nordhaus 1994). Noves versions actualitzades van coincidir en sengles llibres: *A Question of Balance* (Nordhaus 2008) i *The Climate Casino* (Nordhaus 2013). Al 2010, Nordhaus, amb Joseph Boyer, va presentar una versió de DICE que desagregava el món en vuit regions i el va anomenar RICE (*Regional Integrated model of Climate and the Economy*).<sup>2</sup>

Però ja al 1977, Nordhaus va presentar una primera versió d'un IAM al seu article «*Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem*» (Nordhaus 1977). Per entendre el context i la rellevància d'aquesta aportació, només cal dir que no va ser fins al 1988, més de deu anys més tard, quan James Hansen va publicar l'article *Global Climate Changes as Forecast by Goddard Institute for Space Studies Three-Dimensional Model* (Hansen *et al.* 1988), on quedava establert que la Terra s'estava escalfant (i no refredant, com es pensava abans), i quan aquest mateix autor va fer un testimoni al Congrés dels Estats Units presentant les seves projeccions. I no va ser fins al 1990 que l'IPCC va fer públic el seu primer informe (AR1),<sup>3</sup> el qual vinculava, encara que molt prudentment, l'escalfament de la Terra amb la intervenció de l'ésser humà.<sup>4</sup>

Tant el DICE com el RICE són models calibrats d'optimització. La funció objectiu és la suma descomptada d'utilitats, la qual es maximitza subjecta a restriccions econòmiques, representades per un model de creixement, i físiques, representades per un model del clima. No és possible en aquest article descriure detalladament els models i la seva evolució.<sup>5</sup> Presentaré, per tant, els tres trets característics que els diferencien d'un model dinàmic de creixement econòmic: (1) els efectes del canvi climàtic redueixen la producció; (2) la producció genera emissions de gasos hivernacle; (3) les emissions augmenten la concentració de carboni a l'atmosfera generant força radiativa, la qual produeix l'augment de

<sup>2</sup> NORDHAUS i BOYER (2000). Versions posteriors de RICE van augmentar el nombre de regions fins a 12.

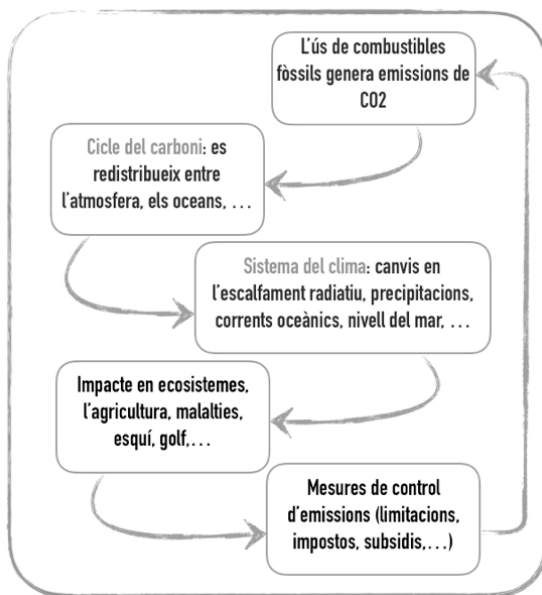
<sup>3</sup> <https://www.ipcc.ch/report/ar1>

<sup>4</sup> WEART (2008) presenta una excel·lent i amena introducció al descobriment del canvi climàtic.

<sup>5</sup> STORZ and NORDHAUS (2013) ofereix una descripció detallada dels models i la seva evolució.

temperatura. La Figura 2 presenta una versió esquematitzada del diagrama de fluxos.

FIGURA 2  
Versió esquematitzada del diagrama de fluxos d'un IAM



Font: Sztork i Nordhaus, 2013.

La producció està representada per una funció Cobb-Douglas  $Y(K(t),L(t))$  amb capital i treball com a *inputs*, però l'*output* final es veu reduït pels efectes del canvi climàtic, representats per la funció de costos  $\Omega(T(t))$ , on  $T(t)$  representa l'augment de temperatura respecte al període preindustrial. Els costos es mesuren en proporció al PIB i, per tant, la producció total, neta de costos del canvi climàtic, està representada per l'expressió  $[1-\Omega(T(t))] \cdot Y(T(t))$ . La producció es pot destinar a consum i a inversió, i a més a més, a la reducció d'emissions  $\Lambda(t)$ , resultant la igualtat comptable

$$[1-\Omega(T(t))] \cdot Y(T(t)) = C(t) + I(t) + \Lambda(t) \tag{1}$$

Les emissions de CO<sub>2</sub> són proporcionals a la producció  $E(t) = \sigma(t)Y[K(t),L(t)]$ , on  $\sigma(t)$  representa la intensitat energètica, que es redueix amb el temps d'acord amb una llei de moviment exògena.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> A la primera versió de DICE les emissions es modelaven com un tercer input a la funció de producció.

El model climàtic representa les relacions geofísiques que equilibren la concentració de carboni a tres nivells: l'atmosfera, la superfície i l'oceà profund. Noves emissions s'incorporen a l'atmosfera, trencant l'equilibri i generant un reajustament de concentracions.

$$\begin{aligned}M_{AT}(t) &= E(t) + \phi_{11} M_{AT}(t-1) + \phi_{21} M_{UP}(t-1) \\M_{UP}(t) &= \phi_{12} M_{AT}(t-1) + \phi_{22} M_{UP}(t-1) + \phi_{32} M_{LO}(t-1) \\M_{LO}(t) &= \phi_{23} M_{UP}(t-1) + \phi_{33} M_{LO}(t-1)\end{aligned}$$

La concentració de carboni a l'atmosfera determina la variació en la força radiativa  $F(t) = \eta \log_2 \left( \frac{M_{AT}(t)}{M_{AT}(1750)} \right) + F_{EX}(t)$ , on  $F_{EX}(t)$  representa l'efecte exogen.

Finalment, la força radiativa causa l'augment de temperatura, determinant els costos en terminis d'*output* d'acord amb 3.

### Altres *Integrated Assessment Models*

DICE i RICE no són, ni molt menys, els únics IAMs. N'hi ha d'altres, però cap amb la influència de DICE a la recerca de l'economia del canvi climàtic. El cinquè informe de l'IPCC (AR5 2014) parla de més de 30 IAMs en ús. Podria dir-se que els contendents més importants són PAGE (*Policy Analysis for the Greenhouse Effect*) creat per Chris Hope de la Universitat de Cambridge (Plambeck i Hope 1995) i utilitzat per l'Stern Review (Stern 2007); i el FUND (*The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution*) creat per Richard Tol (Tol 1996). Tots ells comparteixen un diagrama de fluxos similar al de la Figura 1, però es diferencien en les decisions de modelització i en el seu calibratge.

## Anant més enllà amb l'anàlisi de l'economia del canvi climàtic

Nordhaus i els seus IAMs han constituït, sense cap mena de dubte, una gran contribució en l'anàlisi de l'economia del canvi climàtic. Però la seva anàlisi queda curta en alguns aspectes, dels quals només n'anomenaré tres: la concepció del benestar, l'ètica del canvi climàtic i els costos. Dels dos primers punts n'he escrit amplament a Llavador *et al.* (2010, 2011, 2015a, 2015b) i no faré més que unes breus ressenyes, per poder parlar una mica més del tema dels costos del canvi climàtic.

En relació amb la concepció del benestar, només dir que Nordhaus, però també Stern (2007) i una ampla majoria dels economistes del canvi climàtic, apel·len a una funció còncava del consum individual, encara que hauríem d'estar interessats en una idea més ampla del nivell de vida d'una persona. Aquesta visió restringida del benestar provoca la *fal·làcia consumista* (Llavador *et al.* 2015b), limitant les opcions de transferència de benestar entre generacions, en tant que per augmentar el consum cal incrementar les emissions.

A banda de la problemàtica sobre la concepció del benestar, i suposant que hàgim arribat a un acord satisfactori, el canvi climàtic planteja un problema ètic de llarg termini que requereix una concepció de justícia intergeneracional que permeti la comparació de nivells de benestar entre individus que viuen en generacions molt distants en el temps. L'utilitarisme, la suma d'utilitats, és el plantejament dominant als IAMs, incloent DICE, RICE, PAGE i FUND. Però l'utilitarisme és insensible a la desigualtat i, amb la presència de creixement econòmic, l'utilitarisme produeix l'aparició de *monstres de la utilitat*: generacions futures molt més eficients en generar utilitat amb els recursos existents (Llavador *et al.* 2015b). El resultat és un estalvi extrem destinat a aquests *monstres*, deixant les generacions presents a nivells mínims de subsistència. Qui genera utilitat no és rellevant per a l'utilitarisme, que només es preocupa pel nivell total o per càpita, concentrant així els recursos a les generacions més eficients en produir-ne.

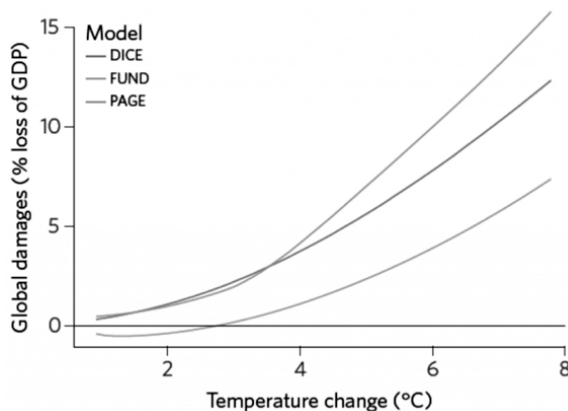
Per resoldre aquest resultat no desitjable s'aplica una taxa de descompte al benestar de generacions futures, moltes vegades justificada també amb el fals argument que, degut al progrés econòmic, les generacions futures gaudiran de major benestar. L'argument és fals, perquè assumir que les generacions futures gaudiran de major benestar elimina la problemàtica del canvi climàtic, si més no des d'una perspectiva antropocèntrica. Una de les característiques fonamentals del canvi climàtic és la possibilitat d'un futur catastròfic amb grans pèrdues de benestar. Per tant, un major benestar per a les generacions futures no està garantit en presència de canvi climàtic. Al capítol 4 de Llavador *et al.* (2015b) es fa una anàlisi detallada d'aquests i d'altres arguments per descomptar el benestar de generacions futures, conclouent que l'únic amb una base ètica defensable és la possibilitat que hi hagi generacions futures que no existeixin. Però la taxa de descompte resultant d'aquest argument és molt propera a zero i uns quants ordres de magnitud inferior a les utilitzades pels IAMs dominants. El problema

dels monstres de la utilitat no es troba doncs en una taxa de descompte molt baixa, sinó que són producte de la insensibilitat de l'utilitarisme a la desigualtat. Calen, doncs, criteris alternatius basats en principis ètics.<sup>7</sup>

Una altra assignatura pendent de l'economia del canvi climàtic, ara per ara, és la mesura dels seus costos. És preocupant el desacord entre els científics del canvi climàtic i els economistes del canvi climàtic pel que fa a la relació amb els costos associats a diferents increments de la temperatura (Heal 2017, Diaz i Moore 2017). Per als científics, augments de 3°C serien devastadors i produirien enormes costos per a la societat. D'altra banda, les funcions de costos dels IAMs associen un augment de tres graus a una reducció del PIB mundial al voltant d'un 2%, un efecte inferior al de la darrera crisi financera. Com es pot apreciar a la Figura 3, no és fins a augments de temperatura per sobre de 5-6°C que el canvi climàtic comença a tenir efectes apreciables sobre l'economia mundial, malgrat que la predicció de les conseqüències d'un augment de 6°C serien catastròfiques, amb pujades del nivell del mar que amenaçarien les principals ciutats del món (incloent-hi Londres, New York, Shanghai, Tokio i Hong Kong), migracions de la població a gran escala i una alta probabilitat de punts d'inflexió que alterarien qualitativament el clima a la Terra, com són la ruptura dels processos monsons, la pèrdua del permafrost o el canvi en la circulació dels corrents marins, entre d'altres (Lento *et al.* 2007).

FIGURA 3

*Funció de costos (damage function) utilitzades pels principals models integrats*



Font: Diaz i Moore 2017.

<sup>7</sup> LLAVADOR *et al.* (2015b) proposa el concepte de sostenibilitat, curiosament absent als llibres de Nordhaus.

És molt probable que tant els economistes com els científics del clima s'equivoquin en les seves estimacions. Però, com assenyalen Heal (2017) i Diaz i Moore (2017), és gairebé segur que la infravaloració dels costos per part dels economistes sigui molt més greu: les noves estimacions sempre resulten en revisions a l'alça; les estimacions no inclouen molts dels aspectes associats a canvis en la temperatura, com són la pèrdua de biodiversitat o els conflictes socials derivats de migracions massives (...). A més, quan el benestar es mesura exclusivament pel consum, que com ja hem dit és predominant als IAMs, els costos d'augment en la temperatura només afecten el benestar per la reducció en la producció, per exemple a conseqüència de la disminució en la productivitat generada per la major freqüència d'onades de calor.

El problema és greu, perquè els IAMs i les seves funcions de costos s'utilitzen per estimar el cost social del carboni (SCC), el qual és amplament utilitzat per al disseny de polítiques.<sup>8,9</sup> Afortunadament, hi ha projectes específicament destinats a resoldre aquesta manca, entre els quals destaca el *Climate Impact Lab* i el seu projecte *Measuring the Real-World Costs of Climate Change*.

Afortunadament, hi ha projectes específicament destinats a resoldre aquesta manca, entre els quals destaca el *Climate Impact Lab* i el seu projecte *Measuring the Real-World Costs of Climate Change*.<sup>10</sup>

## Comentaris finals

El Nobel d'Economia d'enguany és, sense cap mena de dubte, un Nobel merescut i que no hauria d'haver sorprès ningú. Es pot considerar Nordhaus com el pare de l'economia del canvi climàtic. Un economista pioner que ha creat escola i amb una recerca molt influent als debats internacionals i les decisions polítiques.

També es caracteritza per la seva contribució a la metodologia de la ciència econòmica. De fet, tal com diu el comunicat oficial, els Nobel d'Economia

<sup>8</sup> El SCC mesura l'impacte econòmic d'una unitat d'emissions en termes del consum al període  $t$

$$SCC = \frac{\partial W / \partial E(t)}{\partial W / \partial C(t)} = \frac{\partial C(t)}{\partial E(t)}$$

<sup>9</sup> L'altre component rellevant per a l'estimació del SCC és la taxa de descompte.

<sup>10</sup> <http://www.impactlab.org/>



d'enguany premien *les contribucions metodològiques que ens ajuden a entendre els fonaments darrere les causes i conseqüències de la innovació tecnològica i el canvi climàtic*, demostrant la importància dels models teòrics, a més a més de la necessitat d'una visió interdisciplinari i a llarg termini dels principals problemes que ens afecten.

En temes de política econòmica, Nordhaus comparteix amb la majoria dels economistes la necessitat d'establir un impost a les emissions de CO<sub>2</sub> i de crear mecanismes que indueixin a la participació dels països de rendes més baixes en la reducció d'emissions amb incentius econòmics i tecnològics.

## Bibliografia

- DIAZ, D. B., i MOORE, F. C. (2017). «Quantifying the Economic Risks of Climate Change». *Nature Climate Change*, 7:774-582. DOI: 10.1038/nclimate3411
- HANSEN, J., I. FUNG, A. LACIS, D. RIND, S. LEBEDEFF, R. RUEDY, G. RUSSELL, AND P. STONE (1988). «Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model». *Journal of Geophysical Research* 93:9341-9364. DOI:10.1029/JD093iD08p09341.
- HEAL, G. (2017) «The Economics of Climate Change». *Journal of Economic Literature*
- PLAMBECK, E. i HOPE, C. (1995). «Validation and initial results for the updated page model», *Technical report*, University of Cambridge.
- LENTON, T. M., HELD, H., KRIEGLER, E., HALL, J.W., LUCHT, W., RAHMSTORF, S., SCHELLNHUBER, H.J. (2008). «Tipping elements in the Earth's climate system». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6):1786-1793; DOI:10.1073/pnas.0705414105
- LLAVADOR, H., ROEMER, J. E., & SILVESTRE, J. (2010). Intergenerational justice when future worlds are uncertain. *Journal of Mathematical Economics*, 46(5), 728-761. DOI:10.1016/j.jmateco.2010.06.004
- LLAVADOR, H., ROEMER, J. E., & SILVESTRE, J. (2011). A dynamic analysis of human welfare in a warming planet. *Journal of Public Economics*, 95 (11-12), 1607-1620.

- LLAVADOR, H., ROEMER, J. E., & SILVESTRE, J. (2015a). North-south convergence and the allocation of CO<sub>2</sub> emissions. *Climatic Change*, 130(3), 383–395. DOI:10.1007/s10584-014-1227-8
- LLAVADOR, H., ROEMER, J.E. i SILVESTRE, J. (2015b). *Sustainability for a WARMING PLANET*. HARVARD UNIVERSITY PRESS.
- NORDHAUS, W. D. (1977). «Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem». *The American Economic Review*, Papers and Proceedings of the Eighty-ninth Annual Meeting of the American Economic Association 67(1):341-346
- NORDHAUS, W. D. (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. MIT Press.
- NORDHAUS, W. D. (2008). *A question of balance*. Yale University Press.
- NORDHAUS, W. D. (2013). *The Climate Casino: Risk, uncertainty and economics for a warming model*. Yale University Press.
- NORDHAUS, W. D., i BOYER, J. G. (2000). *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. MIT Press.
- NORDHAUS, W. D., i SZTORC, P. (2013). DICE 2013R: *Introduction and User's Manual* (Segona edició). Obtingut de dicemodel.net
- STERN, N. (2007). *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Cambridge University Press.
- TOL, R. S. J. (1996). «The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution». En K. A. Miller i R. K. Parkin (eds.) *An Institute on the Economics of the Climate Resource*. University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, pàgines 471-496.
- WEART, S. R. (2008). *The Discovery of Global Warming. Revised and expanded edition*. Harvard University Press.