



# **INFORME DE SÍNTESIS**

## **CAMBIOCUIMÁTICO**

Riesgos, retos y decisiones globales  
COPENHAGUE 10-12 de marzo de 2009  
[www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk)

Katherine Richardson  
Will Steffen  
Hans Joachim Schellnhuber  
Joseph Alcamo  
Terry Barker  
Daniel M. Kammen  
Rik Leemans  
Diana Liverman  
Mohan Munasinghe  
Balgis Osman-Elasha  
Nicholas Stern  
Ole Wæver



## Ponentes de la sesión plenaria

1. Dr. Rajendra K. Pachauri, Director General Energy and Resources Institute (TERI) and Chairman of the IPCC
2. Professor Lord Nicholas Stern, IG Patel Professor of Economics and Government, London School of Economics
3. Mr. Anders Fogh Rasmussen, (Former) Prime Minister of Denmark
4. Mrs. Connie Hedegaard, Danish Minister for Climate and Energy
5. Mr. Helge Sander, Danish Minister for Science, Technology and Innovation
6. Mr. John Ashton, Special Representative for Climate Change, United Kingdom Foreign & Commonwealth Office
7. Professor Amanda Lynch, School of Geography and Environmental Sciences, Head of the Monash University Climate program, Monash University
8. Dr. Balgis Osman-Elasha, Higher Council for Environment and Natural Resources (HCENR), Sudan
9. Professor Daniel M. Kammen, Director, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy, University of California, Berkeley
10. Professor Diana Liverman, Director of the Environmental Change Institute, University of Oxford
11. Professor Hans Joachim Schellnhuber, Director of the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Visiting Professor at University of Oxford
12. Professor Katherine Richardson, Vice Dean of the Faculty of Science, University of Copenhagen
13. Professor Nebojsa Nakicenovic, Acting Deputy Director of the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Professor of Energy Economics, Vienna University of Technology
14. Professor Qingchen Chao, Deputy Director General, Department of Science & Technology Development, China Meteorological Administration
15. Professor Stefan Rahmstorf, Potsdam Institute for Climate Impact Research
16. Professor William D. Nordhaus, Sterling Professor of Economics, Yale University
32. Director Henrik Bindslev, Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark
33. Professor Jim Skea, Research Director, UK Energy Research Centre
34. Professor Diana Ürge-Vorsatz, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University
35. Professor Jiahua Pan, Senior Fellow and Deputy Director, Research Centre for Sustainable Development, Chinese Academy of Social Sciences
36. Professor Dr. Joyeeta Gupta, Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam
37. Professor Warwick McKibbin, Executive Director, CAMA, ANU Office of Business and Economics, Australian National University
38. Professor Pete Smith, School of Biological Sciences, University of Aberdeen
39. Professor Jørgen E. Olesen, Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University
40. Director General Frances Seymour, Centre for International Forestry Research (CIFOR)
41. Professor Jacquie Burgess, Head of School, University of East Anglia
42. Professor Daniel M. Kammen, Director, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy, University of California, Berkeley
43. Dr. James E. Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies
44. Professor Ole John Nielsen, Department of Chemistry, University of Copenhagen
45. Professor Maria Carmen Lemos, Natural Resources and Environment, University of Michigan
46. Professor Torkil Jønhc Clausen, Managing Director of DHI Water, Environment and Health: Water Policy in Denmark.
47. Professor Harold A. Mooney, Department of Biological Sciences, Stanford University
48. Dr. Mark Stafford Smith, Science Director Climate Adaptation Flagship, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)
49. Professor Paul Leadley, Laboratoire d'Écologie, Systematique et Evolution (ESE Laboratory), Université Paris-Sud 11
50. Dr. Frank Jotzo, Climate Change Institute, Australian National University
51. Professor Roberto Sanchez Rodriguez, Director of UC Mexus, University of California, Riverside
52. Professor Anette Reenberg, Institute of Geography, University of Copenhagen
53. Professor Pier Vellinga, Programme Director of Climate Change, Wageningen University
54. Dr. Tom Downing, Director of Stockholm Environment Institute's Risks, Livelihoods & Vulnerability Programme
55. Dr. Dagmar Schröter, The Sustainable Development Group of the Umweltbundesamt, Austria
56. Professor John R. Porter, Department of Agricultural Sciences, University of Copenhagen
57. Professor Peter Gregory, Director of Scottish Crop Research Institute (SCRI)
58. Professor Niels Elers Koch, Director General of Forest & Landscape, University of Copenhagen
59. Dr. Jill Jäger, Sustainable Europe Research Institute (SERI)
60. Jamie Pittock, WWF Research Associate, Australian National University
61. Dr. John Christensen, UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development
62. Dr. Fatima Denton, Climate Change Adaptation in Africa (CCAA), Dakar
63. Dr. Koko Warner, Munich Climate Insurance Initiative (MCI)
64. Professor Kazuhiko Takeuchi, Deputy Executive Director of the Integrated Research System for Sustainability Science, The University of Tokyo
65. Professor Dr. Rik Leemans, Department of Environmental Sciences, Wageningen University
66. Professor Ken Caldeira, Carnegie's Institution's Department of Global Ecology, Stanford University
67. Professor Mary Scholes, School of Animal, Plant and Environmental Sciences, University of Witwatersrand
68. Dr. Carol Turley, Plymouth Marine Laboratory
69. Professor Dr. Louise Fresco, University of Amsterdam
70. Dr. Pamela Matson, Dean of the School of Earth Sciences, Stanford University
71. Mr. Agus Sari, Director of Indonesia and Policy Coordinator for Southeast Asia, EcoSecurities
72. Professor Oran Young, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara
73. Dr. Chris Hope, Judge Business School, University of Cambridge
74. Dr. Detlef Sprintz, Senior Scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research
75. Kevin Anderson, Research Director, Energy and Climate Change Programme, Tyndall Centre for Climate Change Research, Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, University of Manchester
76. Dr. Max Boykoff, Environmental Change Institute, University of Oxford
77. Dr. Aled Jones, Deputy Director, University of Cambridge Programme for Industry, University of Cambridge
78. Professor Johan Rockström, University of Stockholm & Executive Director at Stockholm Environment Institute
79. Dr. Tariq Banuri, Senior Researcher, Stockholm Environment Institute
80. Professor Ole Wæver, Political Science Department, University of Copenhagen
81. Professor Karen O'Brien, Department of Sociology and Human Geography, University of Oslo
82. Professor Thomas Heyd, Department of Philosophy, University of Victoria
83. Dr. Katrine Krogh Andersen, Special Advisor, Danish Ministry of Climate & Energy
84. Dr. Andreas Barkman, Head of Air and Climate Change Mitigation, European Environment Agency

## Presidentes de las sesiones

1. Professor Dorthe Dahl-Jensen, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen
2. Dr. Konrad Steffen, Director of Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado at Boulder
3. Professor John Mitchell, Director of Climate Science, UK Meteorological Office
4. Professor Masahide Kimoto, Deputy Director, Center for Climate System Research, The University of Tokyo
5. Professor Dr. Martin Visbeck, The Leibniz-Institute of Marine Sciences at the University of Kiel (IFM-GEOMAR)
6. Professor Nathan Bindoff, Institute of Antarctic and Southern Ocean Studies, University of Tasmania
7. Dr. Michael Raupach, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Marine and Atmospheric Research, leader of the Continental Biogeochemical Cycles Research Team
8. Professor Dr. Nicolas Gruber, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zurich
9. Professor Martin Claussen, Max Planck Institute for Meteorology, University of Hamburg
10. Professor Matthew England, Climate Change Research Centre (CCRC) University of New South Wales
11. Professor Tim Lenton, Laboratory for Global Marine and Atmospheric Chemistry, School of Environmental Sciences, University of East Anglia
12. Dr. Bette Otto-Bliesner, Senior Scientist in the Paleoclimate Group in the Climate and Global Dynamics Division, The National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, Colorado.
13. Dr. Chris Turney, Department of Geography, University of Exeter
14. Professor Keith Paustian, The Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University
15. Professor Scott Denning, Department of Atmospheric Science, Colorado State University
16. Professor Ann Henderson-Sellers, Department of Physical Geography, Macquarie University
17. Dr. Paul Baer, Research Director, EcoEquity
18. Dr. Sivan Kartha, Stockholm Environment Institute (SEI)
19. Professor Timmons Roberts, Institute for the Theory and Practice of International Relations, The College of William and Mary & Environmental Change Institute, University of Oxford
20. Professor Coleen Vogel, School of Geography, Archaeology and Environmental Studies, University of the Witwatersrand
21. Dr. Carlos Nobre, Brazil National Institute for Space Research
22. Dr. Cameron Hepburn, Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford
23. Professor Dale Jamieson, Director of Environmental Studies, New York University
24. Professor Anthony J. McMichael, National Centre of Epidemiology and Population Health, Australian National University
25. Dr. Roberto Bertollini, Director of Division of Technical Support, Health Determinants, WHO Regional Office for Europe
26. Professor Mark S. Ashton, Yale School of Forestry and Environmental Studies, Yale University
27. Professor Liping Zhou, Peking University
28. Dr. Pep Canadell, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Marine and Atmospheric Research, Executive Director Global Carbon Project
29. Professor Dr. Wim C. Turkenburg, Director Copernicus Institute, Utrecht University
30. Professor Claus Felby, Forest & Landscape, University of Copenhagen
31. Science Manager Anders Viksø-Nielsen, Novozymes Biofuels R&D
52. Professor Anette Reenberg, Institute of Geography, University of Copenhagen
53. Professor Pier Vellinga, Programme Director of Climate Change, Wageningen University
54. Dr. Tom Downing, Director of Stockholm Environment Institute's Risks, Livelihoods & Vulnerability Programme
55. Dr. Dagmar Schröter, The Sustainable Development Group of the Umweltbundesamt, Austria
56. Professor John R. Porter, Department of Agricultural Sciences, University of Copenhagen
57. Professor Peter Gregory, Director of Scottish Crop Research Institute (SCRI)
58. Professor Niels Elers Koch, Director General of Forest & Landscape, University of Copenhagen
59. Dr. Jill Jäger, Sustainable Europe Research Institute (SERI)
60. Jamie Pittock, WWF Research Associate, Australian National University
61. Dr. John Christensen, UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development
62. Dr. Fatima Denton, Climate Change Adaptation in Africa (CCAA), Dakar
63. Dr. Koko Warner, Munich Climate Insurance Initiative (MCI)
64. Professor Kazuhiko Takeuchi, Deputy Executive Director of the Integrated Research System for Sustainability Science, The University of Tokyo
65. Professor Dr. Rik Leemans, Department of Environmental Sciences, Wageningen University
66. Professor Ken Caldeira, Carnegie's Institution's Department of Global Ecology, Stanford University
67. Professor Mary Scholes, School of Animal, Plant and Environmental Sciences, University of Witwatersrand
68. Dr. Carol Turley, Plymouth Marine Laboratory
69. Professor Dr. Louise Fresco, University of Amsterdam
70. Dr. Pamela Matson, Dean of the School of Earth Sciences, Stanford University
71. Mr. Agus Sari, Director of Indonesia and Policy Coordinator for Southeast Asia, EcoSecurities
72. Professor Oran Young, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara
73. Dr. Chris Hope, Judge Business School, University of Cambridge
74. Dr. Detlef Sprintz, Senior Scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research
75. Kevin Anderson, Research Director, Energy and Climate Change Programme, Tyndall Centre for Climate Change Research, Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, University of Manchester
76. Dr. Max Boykoff, Environmental Change Institute, University of Oxford
77. Dr. Aled Jones, Deputy Director, University of Cambridge Programme for Industry, University of Cambridge
78. Professor Johan Rockström, University of Stockholm & Executive Director at Stockholm Environment Institute
79. Dr. Tariq Banuri, Senior Researcher, Stockholm Environment Institute
80. Professor Ole Wæver, Political Science Department, University of Copenhagen
81. Professor Karen O'Brien, Department of Sociology and Human Geography, University of Oslo
82. Professor Thomas Heyd, Department of Philosophy, University of Victoria
83. Dr. Katrine Krogh Andersen, Special Advisor, Danish Ministry of Climate & Energy
84. Dr. Andreas Barkman, Head of Air and Climate Change Mitigation, European Environment Agency

# INFORME DE SÍNTESIS

de

## CAMBIO CLIMÁTICO

Riesgos, retos y decisiones globales

COPENHAGUE 10-12 de marzo de 2009

[www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk)

### EQUIPO DE REDACCIÓN

Professor Katherine Richardson (Presidencia),  
Vice Dean of the Faculty of Science, University of Copenhagen

Professor Will Steffen,  
Executive Director of the ANU Climate Change Institute,  
Australian National University

Professor Hans Joachim Schellnhuber,  
Director of the Potsdam Institute for Climate Impact Research and  
Visiting Professor at University of Oxford

Professor Joseph Alcamo,  
Chief Scientist (Designate) of the United Nations Environment  
Programme (UNEP)

Dr. Terry Barker,  
Centre for Climate Change Mitigation Research, Department of Land  
Economy, University of Cambridge

Professor Daniel M. Kammen,  
Director, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Energy and  
Resources Group & Goldman School of Public Policy  
University of California – Berkeley

Professor Dr. Rik Leemans,  
Department of Environmental Sciences, Wageningen University

Professor Diana Liverman,  
Director of the Environmental Change Institute, University of Oxford

Professor Mohan Munasinghe,  
Munasinghe Institute for Development (MIND), Sri Lanka

Dr. Balgis Osman-Elasha,  
Higher Council for Environment & Natural Resources (HCENR), Sudán

Professor Lord Nicholas Stern,  
IG Patel Professor of Economics and Government,  
London School of Economics

Professor Ole Wæver,  
Political Science Department, University of Copenhagen

University of Copenhagen  
Informe de síntesis sobre el

# **CAMBIOCLIMÁTICO**

Riesgos, retos y decisiones globales

COPENHAGUE 10-12 de marzo de 2009

[www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk)

Diseño gráfico: Konform.com

ISBN 978-87-90655-73-0

Impreso en Dinamarca, 2009



# PREFACIO

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que se celebrará en Copenhague en diciembre de 2009 (la decimoquinta Conferencia de las Partes, COP15), será un paso crítico en el desarrollo de una respuesta global a la amenaza del cambio climático causado por las actividades humanas. La principal aportación científica a dichas negociaciones es el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado en 2007<sup>i</sup>. El informe del IPCC ya ha sido decisivo para aumentar la concienciación tanto pública como política en torno a los riesgos para la sociedad asociados a la emisión incontrolada de gases de efecto de invernadero.

Desde la elaboración del informe del IPCC, han salido a la luz nuevos datos que amplían nuestra comprensión sobre los impactos de la influencia humana sobre el clima y las opciones y enfoques de respuesta de que disponemos para abordar este complejo problema. Para compilar ese nuevo conocimiento, la Alianza Internacional de Universidades de Investigación (International Alliance of Research Universities)<sup>i</sup> organizó un congreso científico internacional sobre el cambio climático, *Cambio climático: riesgos, retos y decisiones globales*, que se celebró en Copenhague del 10 al 12 de marzo de 2009. La participación en el Congreso estuvo abierta al público. La mayoría de los más de 2.500 asistentes al Congreso eran investigadores, muchos de los cuales habían contribuido también a la elaboración de los informes del IPCC. Los participantes procedían de cerca de 80 países distintos y contribuyeron con más de 1.400 presentaciones científicas. Se pueden encontrar los resúmenes de todas las presentaciones científicas en [www.iop.org/EJ/volume/1755-1315/6](http://www.iop.org/EJ/volume/1755-1315/6), y se puede consultar una transcripción de la sesión plenaria de clausura en [environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/39126](http://environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/39126).

Este informe de síntesis presenta una visión general actualizada de investigaciones muy variadas en relación con el cambio climático, incluidos los aspectos científicos básicos sobre el clima, los impactos de un clima cambiante sobre la sociedad y el medio ambiente y las muchas herramientas y enfoques disponibles para abordar con eficacia el reto del cambio climático. El informe ha sido elaborado por un equipo de redacción formado por miembros del Comité Científico Director del Congreso de la IARU y por personas invitadas para aportar al equipo de redacción amplitud académica y geográfica. Está basado en las 16 conferencias plenarias presentadas en el congreso, así como en las aportaciones de los más de 80 presidentes y copresidentes de las sesiones de las 58 sesiones paralelas que se celebraron en el congreso. Los nombres de los ponentes de las sesiones plenarias y de los presidentes y copresidentes de las sesiones paralelas pueden encontrarse en el interior de la portada de este volumen. Además de las presentaciones del Congreso, el equipo de redacción ha compilado algunas publicaciones recientes de la literatura científica para crear esta síntesis.

Este informe ha sido revisado de forma crítica por representantes de la Asociación de Investigaciones Científicas sobre el Sistema Terrestre (ESSP)<sup>ii</sup>, por los presidentes y copresidentes de las sesiones paralelas y por hasta cuatro investigadores independientes de cada universidad de la IARU. Este exhaustivo proceso de revisión se ha puesto en práctica para garantizar que los mensajes contenidos en el informe estén basados de forma sólida y precisa en la nueva investigación elaborada desde el último informe del IPCC, y que reflejen fielmente los trabajos más recientes de la comunidad investigadora internacional sobre el cambio climático.

<sup>i</sup> IARU (International Alliance of Research Universities), Alianza Internacional de Universidades de Investigación: (<http://www.iaruni.org/>) Universidad Nacional de Australia, Universidad de California – Berkeley, Universidad de Cambridge, Universidad de Copenhague, ETH Zürich, Universidad Nacional de Singapur, Universidad de Oxford, Universidad de Pekín, Universidad de Tokio, Universidad de Yale.

<sup>ii</sup> La ESSP ([www.essp.org](http://www.essp.org)) es una asociación de programas de investigación internacionales: el Programa Mundial de Investigaciones sobre el Clima (WCRP), el Programa Internacional de la Geosfera y la Biosfera (IGBP), el Programa de las Dimensiones Humanas Internacionales del Cambio Mundial (IHDP) y DIVERSITAS, un programa internacional de ciencia sobre la biodiversidad.



---

# RESUMEN EJECUTIVO

Las sociedades del pasado reaccionaron cuando entendieron que sus propias acciones estaban causando un cambio medioambiental perjudicial y controlaron o modificaron sus actividades nocivas. En la actualidad tenemos abundantes pruebas científicas que demuestran que las actividades humanas, especialmente la combustión de combustibles fósiles, están ejerciendo una influencia negativa en el clima, que amenaza el bienestar y el continuo desarrollo de la sociedad humana. Si la humanidad puede aprender de su historia y limitar estas amenazas, ha llegado el momento de ejercer un mayor control sobre las actividades humanas que están cambiando las condiciones esenciales de la vida en la Tierra.

Para decidir las medidas de control eficaces que se pueden aplicar, es necesario entender de qué modo las actividades humanas están cambiando el clima y

cuáles son las implicaciones de no supervisar el cambio climático. También es importante diseminar este conocimiento por todo el mundo y hacerlo llegar a los distintos líderes nacionales y al público.

El propósito de este informe es facilitar una actualización del conocimiento más actual sobre el cambio climático provocado por las actividades humanas entre un público diverso, así como de sus implicaciones sociales y medioambientales y las opciones de que dispone la sociedad para responder a los retos que el cambio climático plantea.

Este conocimiento se comunica a través de seis mensajes clave:

## MENSAJE CLAVE 1: **TENDENCIAS CLIMÁTICAS**

Las observaciones recientes ponen de manifiesto que las emisiones de gases de efecto de invernadero y muchos aspectos relacionados con el clima están cambiando muy cerca del límite superior del rango de previsiones del IPCC. Muchos indicadores climáticos clave ya se están desplazando más allá de los patrones de variabilidad natural dentro de los que se han desarrollado y han prosperado la economía y la sociedad contemporáneas. Estos indicadores incluyen la temperatura media de la superficie del planeta, la elevación del nivel del mar, la temperatura global oceánica, la extensión del hielo marino del Ártico, la acidificación oceánica y los acontecimientos climáticos extremos. Si no se frenan las emisiones, muchas tendencias climáticas probablemente se aceleren, lo que llevará a un incremento del riesgo de que se produzcan variaciones bruscas o irreversibles del clima.

## MENSAJE CLAVE 2: **TRASTORNO SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL**

La comunidad científica aporta mucha información para respaldar los debates sobre “un cambio climático peligroso”. Algunas observaciones recientes muestran que las sociedades y los ecosistemas son muy vulnerables, incluso a niveles moderados de cambio climático, y que están particularmente en riesgo las naciones y comunidades pobres, los servicios de los ecosistemas y la diversidad. Para las sociedades contemporáneas será difícil sobreponerse a aumentos de temperatura por encima de los 2 °C. Es probable que esto cause grandes trastornos sociales y medioambientales durante el resto del siglo e incluso después.

## MENSAJE CLAVE 3: **ESTRATEGIA A LARGO PLAZO: METAS Y CALENDARIOS GLOBALES**

Es necesario adoptar una mitigación rápida, sostenida y eficaz, basada en la coordinación de acciones globales y regionales, para evitar un “cambio climático peligroso”, independientemente de cómo se defina. Fijar objetivos menos estrictos para el año 2020 aumenta el riesgo de sufrir impactos graves, incluido el riesgo de cruzar puntos de inflexión, y hace más difícil y costosa la tarea de cumplir los objetivos para el 2050. Establecer un precio creíble a largo plazo para el carbono y adoptar políticas que promuevan la eficiencia energética y las tecnologías con bajas emisiones de carbono es esencial para conseguir una mitigación eficaz.

## MENSAJE CLAVE 4: **DIMENSIONES DE EQUIDAD**

El cambio climático está teniendo, y tendrá, efectos diferenciales muy intensos sobre las personas dentro de los distintos países y regiones, entre esta generación y las generaciones futuras y, sobre las sociedades humanas y el mundo natural. Es necesario disponer de una red de seguridad para la adaptación bien financiada, eficaz y destinada a aquellas personas que tengan menos capacidad de hacer frente a los impactos del cambio climático. También es importante tener estrategias de mitigación equitativas para proteger a los pobres y más vulnerables. Hacer frente al cambio climático debe considerarse una parte integral de las metas para incrementar el desarrollo socioeconómico y la equidad en todo el mundo.

## MENSAJE CLAVE 5: **LA INACCIÓN ES INEXCUSABLE**

La sociedad ya dispone de muchas herramientas y enfoques distintos (económicos, tecnológicos, conductuales y de gestión) para hacer frente de forma eficaz al desafío del cambio climático. Si esas herramientas no se ponen en práctica amplia y enérgicamente, no se alcanzará la adaptación al inevitable cambio climático y la transformación social necesaria para descarbonizar las economías. Una amplia gama de ventajas se obtendrá del esfuerzo concertado para conseguir una adaptación y mitigación rápidas y eficaces. Por ejemplo, el aumento del empleo en el sector de las energías sostenibles; reducciones en los costos sanitarios, sociales, económicos y medioambientales del cambio climático; y la reparación de los ecosistemas y la revitalización de sus servicios.

## MENSAJE CLAVE 6: **SUPERAR EL DESAFÍO**

Un número de obstáculos importantes deben superarse y, aprovecharse oportunidades críticas, a fin de conseguir la transformación social necesaria para superar el desafío del cambio climático. Entre ellas, deberá reducirse la inercia en los sistemas sociales y económicos; asimismo, deberá alimentarse el creciente deseo público de que los gobiernos actúen para frenar el cambio climático; reducir las actividades que aumenten las emisiones de gases de efecto de invernadero y reduzcan la capacidad de resiliencia (por ejemplo, mediante subsidios); y facilitar la transición de una gobernanza ineficaz e instituciones débiles a un liderazgo innovador en el gobierno, el sector privado y la sociedad civil. Vincular el cambio climático a cuestiones más amplias sobre producción y consumo sostenibles, los problemas de derechos humanos y los valores democráticos es esencial para que las sociedades adopten patrones de desarrollo más sostenibles.



# VIVIR CON RESTRICCIONES MEDIOAMBIENTALES

La Tierra tiene aproximadamente cinco mil millones de años. Los seres humanos, por el contrario, llevan en el planeta solo un 0,004% de ese tiempo; El *Homo sapiens* moderno evolucionó hace aproximadamente 200.000 años. A lo largo de la historia de la Tierra, han tenido lugar grandes cambios climáticos. Los primeros seres humanos experimentaron algunos de estos drásticos acontecimientos climáticos y algunos de ellos lograron sobrevivir. Sin embargo, los seres humanos solo han prosperado realmente durante los últimos 12.000 años, un periodo en el que el clima de la Tierra ha sido cálido y estable, en comparación con periodos anteriores.

Bajo las condiciones climáticas estables de ese periodo, los seres humanos descubrieron cómo cultivar plantas y domesticar animales. Estos descubrimientos, que tuvieron lugar hace aproximadamente 10.000 años y que en última instancia desembocaron en la agricultura moderna, cambiaron de manera radical la relación entre los seres humanos y el planeta. Hicieron posible sobrepasar la barrera natural prevaleciente sobre la cifra de seres humanos, y permitieron que más personas prosperasen de manera simultánea en la Tierra de lo que hubiese sido posible sin el control de la provisión de alimentos.

Presumiblemente, los primeros agricultores eran libres de ejercer su actividad donde quisieran. Sin embargo, cuando la sociedad advirtió, muchos miles de años después, que la práctica no supervisada de la agricultura y su desarrollo podrían ser dañinos para la sociedad en su conjunto, se elaboraron leyes locales para regular cómo y dónde se podía practicar la agricultura. Del mismo modo, nuestros primeros ancestros probablemente sufrieron restricciones sobre dónde podían desembarazarse de sus desechos. Cuando las cifras de población alcanzaron un determinado nivel y la acumulación de desechos se reconoció como un problema de salud o de contaminación, se crearon normas y tecnologías para

gestionar la eliminación de desechos. Un ejemplo contemporáneo de regulación de aplicación global es el protocolo de Montreal. En este caso, la comunidad internacional acordó actuar en 1987 de conformidad con las pruebas científicas que demostraban que determinados gases industriales podían desembocar en la destrucción peligrosa de la capa de ozono de la Tierra.

En todos estos casos, solo se estableció un control cuando se consiguió la aceptación general por parte de la sociedad de que un estado continuado de ausencia de regulación podría acarrear costos inaceptables. Así pues, la historia de la relación de la Humanidad con el medio ambiente demuestra que, cuando la sociedad aprende que una determinada práctica puede poner en peligro el bienestar de sus miembros, establece normas, reglamentos y otras estrategias para controlar dicha práctica.

Las pruebas científicas en la actualidad demuestran de manera abrumadora que permitir la emisión incontrolada de gases de efecto de invernadero derivados de la actividad humana constituye una amenaza notable para el bienestar y el desarrollo continuado de la sociedad contemporánea. El conocimiento de la incidencia de las actividades humanas sobre el clima le confiere a la sociedad contemporánea la responsabilidad de actuar. La sociedad necesita redefinir la relación de la humanidad con la Tierra y, en aras de su bienestar, requiere gestionar esas actividades humanas que interfieren con el clima. Sin embargo, ese conocimiento debe difundirse más allá de la comunidad científica para respaldar el desarrollo de respuestas eficaces. El propósito de este informe consiste en comunicar a una gran variedad de público la información más actualizada de que dispone la comunidad científica acerca del cambio climático, sus implicaciones y las acciones necesarias para hacerle frente de forma eficaz.

## MENSAJE CLAVE 1

# TENDENCIAS CLIMÁTICAS

Las observaciones recientes ponen de manifiesto que las emisiones de gases de efecto de invernadero y muchos aspectos relacionados con el clima están cambiando muy cerca del límite superior del rango de previsiones del IPCC. Muchos indicadores climáticos clave ya se están desplazando más allá de los patrones de variabilidad natural dentro de los que se han desarrollado y han prosperado la economía y la sociedad contemporáneas. Estos indicadores incluyen la temperatura media de la superficie del planeta, la elevación del nivel del mar, la temperatura global oceánica, la extensión del hielo marino del Ártico, la acidificación oceánica y los acontecimientos climáticos extremos. Si no se frenan las emisiones, muchas tendencias climáticas probablemente se aceleren, lo que llevará a un incremento del riesgo de que se produzcan variaciones bruscas o irreversibles del clima.

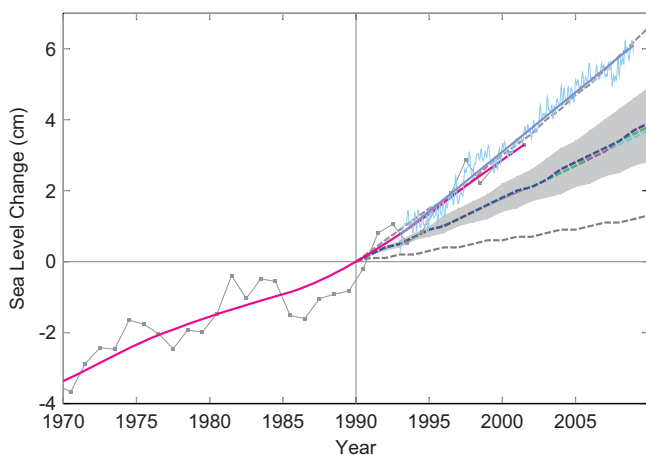
El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) concluyó en 2007<sup>2</sup> que el cambio climático está teniendo lugar, sin duda alguna, y que la Tierra se está calentando. El IPCC concluye además que existe 90% de posibilidades de que este calentamiento de la Tierra esté causado principalmente por actividades humanas (las más importantes serían la emisión de gases de efecto de invernadero y la desaparición de la vegetación natural). Los informes que comparan las previsiones del IPCC de 1990 con las observaciones realizadas desde el 2007 muestran que existen algunos indicadores climáticos que están cambiando muy cerca del límite superior del rango indicado en las previsiones o, en el caso del aumento del nivel del mar (Figura 1), a un ritmo incluso mayor que el indicado en las previsiones del IPCC. Para captar la importancia de esas observaciones hay que entender el cambio climático más allá del calentamiento de la atmósfera.

El clima está controlado, en buena medida, por los flujos de calor que entran y salen del planeta y por el almacenamiento de calor en distintos compartimentos del Sistema Terrestre: los océanos, el suelo, la atmósfera, la nieve/el hielo. El calor procede del sol en última instancia. Solo una pequeña cantidad de calor queda almacenado en la atmósfera (Figura 2); La mayor cantidad de calor almacenado

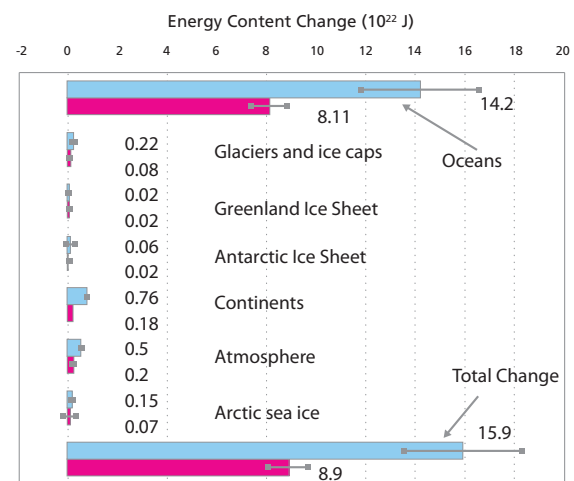
en la superficie de la Tierra se encuentra en los océanos. El flujo de calor avanza con mayor lentitud en el océano que en la atmósfera. Sin embargo, un cambio en la temperatura oceánica es un mejor indicador del cambio en el clima que los cambios en la temperatura del aire, debido a la enorme cantidad de calor almacenada en los océanos.

La figura 3 muestra la tendencia en la temperatura del aire en superficie a lo largo de las últimas décadas. El 2008 fue un año más frío que los años inmediatamente anteriores, sobre todo porque el ciclo de la actividad magnética del sol alcanzó su mínimo (ciclo solar) y porque en 2007/2008 tuvo lugar el fenómeno meteorológico conocido como La Niña. Sin embargo, es evidente que existe una tendencia a largo plazo de aumento de la temperatura. La trayectoria de la temperatura atmosférica en la superficie de la Tierra está avanzando dentro del rango de las previsiones del IPCC.

Desde el último informe del IPCC, se han publicado tendencias actualizadas de la temperatura oceánica en superficie y del contenido calorífico de los océanos<sup>4,5</sup>. Estas estimaciones revisadas muestran (Figura 4) que el océano se ha calentado de forma notable en los últimos años. Las estimaciones actuales indican que el



**Figura 1**  
Cambio en el nivel del mar desde 1970 hasta 2008, en relación con el nivel del mar en 1990. Las líneas continuas están basadas en observaciones suavizadas para eliminar los efectos de la variabilidad interanual (las líneas claras conectan puntos de datos). Los datos de los últimos años se obtienen a través de sensores de los satélites. La línea envolvente de las previsiones del IPCC se muestra a efectos de comparación; incluye las líneas discontinuas, que marcan cada previsión y el sombreado, que representa la incertidumbre sobre las previsiones<sup>3</sup>.



**Figura 2**  
El cambio en el contenido energético de distintos componentes del Sistema Terrestre para dos periodos: 1961-2003 (barras azules) y 1993-2003 (barras rosas)<sup>2</sup> (Figura 5.4).



# Cambios en el casquete glaciar de Groenlandia

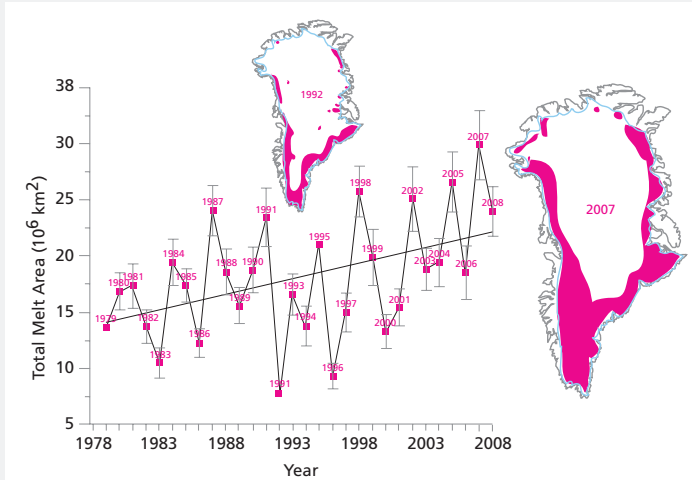
Prof. Dorthe Dahl Jensen, [ddj@gfy.ku.dk](mailto:ddj@gfy.ku.dk) y Dr. Konrad Steffen, [Konrad.Steffen@colorado.edu](mailto:Konrad.Steffen@colorado.edu)

## RECUADRO 1

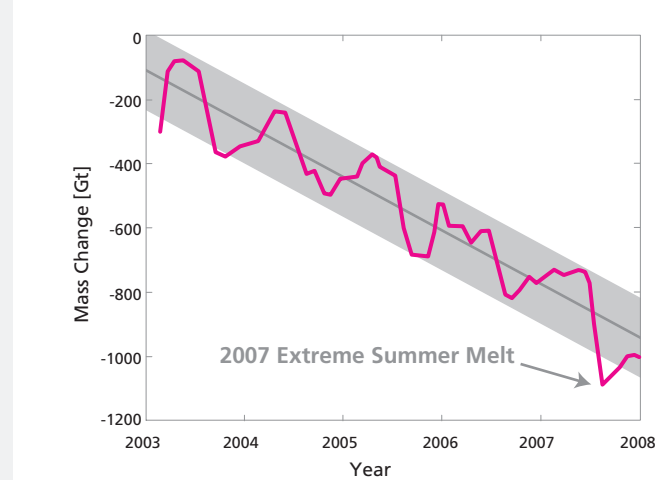
El incremento del deshielo de los casquetes polares contribuye al aumento observado del nivel del mar. Las observaciones del área del casquete glaciar de Groenlandia, que ha estado a temperatura del punto de fusión durante al menos un día durante el periodo estival, muestran un aumento del 50% entre 1979 y 2008<sup>6</sup> (véase la figura). La región de Groenlandia experimentó un verano extremadamente cálido en 2007. Toda el área del sur de Groenlandia alcanzó temperaturas de fusión durante el último verano y, en esta misma región, la estación de deshielo empezó entre 10 y 20 días antes y duró 60 días más<sup>7</sup>.

Además del deshielo, los grandes casquetes polares perdieron masa a causa de la descarga glaciar, que también es sensible a la temperatura de la región. Las mediciones por satélite de pequeños cambios en la gravedad han revolucionado la capacidad para estimar la pérdida de masa causada por estos

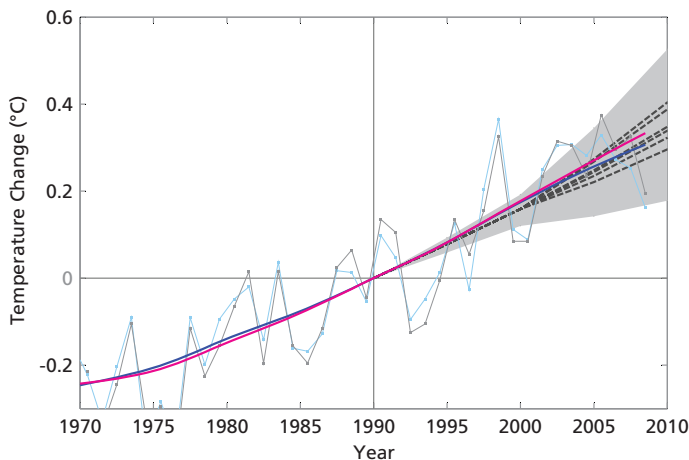
procesos. La segunda figura muestra que el casquete glaciar de Groenlandia ha estado perdiendo masa a un ritmo de 179 Gt/año desde 2003. Esta tasa de pérdida se corresponde con una contribución al aumento global medio del nivel del mar de 0,5 mm/año; el aumento global medio actual del nivel del mar es de 3,1 mm/año<sup>8</sup>. En cuanto al área de deshielo, la pérdida de masa correspondiente al año excepcionalmente cálido de 2007 fue muy grande. Las nuevas observaciones de la creciente pérdida de masa de los glaciares, los casquetes polares y los casquetes glaciares de Groenlandia y la Antártida conllevan unas predicciones de aumentos globales medios del nivel del mar de 1 m ( $\pm 0,5$  m) durante el próximo siglo. Las estimaciones actualizadas del aumento global medio del nivel del mar en el futuro duplican las proyecciones del IPCC de 2007<sup>28</sup>.



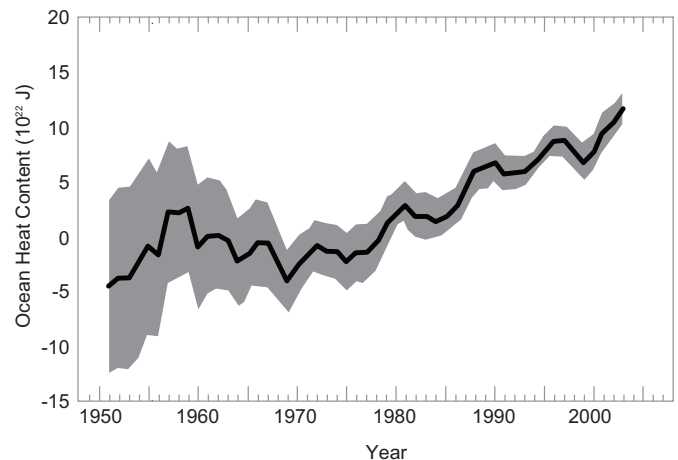
Área de la superficie que se está fundiendo en todo el casquete glaciar de Groenlandia, como se desprende de las observaciones del satélite de su temperatura de superficie<sup>6</sup>.



Cambio en la masa del casquete glaciar de Groenlandia, desde 2003 hasta 2008, como se estima por las mediciones del satélite de los cambios en el campo gravitatorio. El área sombreada en gris muestra el nivel de confianza del 90% de la línea recta ajustada. El eje vertical se establece en un valor arbitrario de cero al principio del periodo de observación<sup>8</sup>.



**Figura 3**  
Cambios en la temperatura global del aire en superficie (en lugar de los 11 años que figuraban en la primera versión de este informe) en relación con 1990. La línea azul representa datos procedentes del Hadley Center (Oficina de Meteorología del Reino Unido); la línea roja son los datos del GISS (NASA Goddard Institute for Space Studies, EE.UU.). Las líneas discontinuas reflejan las previsiones del Tercer Informe de Evaluación del IPCC, y el sombreado muestra las incertidumbres sobre las previsiones<sup>3</sup> (datos de 2007 y 2008 añadidos por Rahmstorf, S.).



**Figura 4**  
Cambios en el contenido calorífico de los océanos desde 1951 (observaciones - línea negra) con incertidumbres (sombreado en gris), en relación con el contenido calorífico del océano en 1961<sup>4</sup>.



calentamiento del océano es aproximadamente un 50% mayor de lo que el IPCC había previsto anteriormente<sup>2</sup>. Esas nuevas estimaciones nos ayudan a entender mejor la tendencia observada en el nivel del mar, según las observaciones realizadas en las décadas recientes. Buena parte de la elevación del nivel del mar observado hasta hace poco tiempo ha sido el resultado de la expansión térmica del agua del mar.

El ritmo al que se ha elevado el nivel del mar se ha acelerado en el periodo que va desde 1993 hasta la actualidad (Figura 1), en buena medida a causa de la creciente pérdida glacial en Groenlandia (Recuadro 1) y la Antártida. Sin embargo, los modelos teóricos del comportamiento de estos casquetes polares están aún en pañales. Las previsiones sobre el aumento del nivel del mar hasta 2100 que se basan en dichos "modelos de procesos" presentan un elevado índice de incertidumbre. Un enfoque alternativo consiste en basar las previsiones en la relación observada entre el aumento de la temperatura media global y la elevación del nivel del mar durante los últimos 120 años, suponiendo que esa relación observada se mantenga en el futuro. Las nuevas estimaciones basadas en este enfoque sugieren que se registrará un aumento del nivel del mar de cerca de un metro o incluso más para el año 2100<sup>16</sup> (Sesión inaugural (S. Rahmstorf) y sesión 1).

El aumento del nivel del mar no se detendrá en el año 2100. Los cambios en el contenido calorífico del océano seguirán afectando a la elevación del nivel del mar durante varios siglos, como mínimo. El deshielo y la pérdida dinámica de hielo en la Antártida y Groenlandia también perdurarán durante varios siglos. Así pues, en el futuro, los cambios en el clima iniciados por las generaciones actuales afectarán directamente a nuestros descendientes durante mucho tiempo. De hecho, la temperatura media global en superficie difícilmente descenderá durante los primeros miles de años después de que se eliminen por completo las emisiones de gases de efecto de invernadero<sup>9,10</sup>.

Uno de los acontecimientos más drásticos desde el último informe del IPCC<sup>1</sup> ha sido la rápida reducción en el área de hielo marino del Ártico en verano. En 2007, el área mínima cubierta de hielo se redujo en cerca de 2 millones de kilómetros cuadrados, en comparación con años anteriores. En 2008, la reducción fue casi tan drástica como la del año anterior<sup>11</sup>. Esta reducción en la superficie cubierta por el hielo es importante para el clima a una escala aún mayor. El hielo y la nieve reflejan la mayor parte de la radiación del sol nuevamente a la atmósfera, mientras que el agua del mar absorbe la mayor parte de la radiación que recibe del sol. Por lo tanto, un océano sin hielo absorbe más calor que uno cubierto de hielo, de modo que la pérdida de hielo marino en el Ártico genera una "retroalimentación" en el sistema climático que incrementa el calentamiento.

La principal causa del aumento del contenido calorífico de la superficie del planeta es el incremento en las concentraciones de gases de efecto de invernadero en la atmósfera<sup>2, 12</sup> (Figura 5). Estos gases aumentan el "efecto de invernadero", que es un proceso físico bien documentado y comprendido del Sistema Terrestre (como la gravedad o las mareas) y que se conoce desde el siglo XIX. El efecto de invernadero natural hace que la Tierra sea un lugar habitable en primer lugar. Los gases de efecto de invernadero, como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) en la atmósfera absorben el calor que sale de la superficie de la Tierra y acumulan más calor cerca de la superficie del planeta (en el océano, el suelo y la atmósfera). Sin la existencia de un efecto de invernadero natural, la temperatura media en la Tierra sería de -19 °C, es decir, unos 34 °C más fría de lo que es actualmente. Todos los planetas con gases que absorben calor en su atmósfera experimentan un efecto de invernadero; la temperatura de superficie extrema de Venus (440 °C), por ejemplo, puede explicarse únicamente por su elevada concentración de CO<sub>2</sub>.

Cambiar la cantidad de gases de efecto de invernadero en la atmósfera altera la magnitud del efecto de invernadero. El vapor de agua es el gas de efecto de invernadero más abundante y aporta la mayor contribución al efecto de invernadero natural en la Tierra. Puesto que la capacidad de la atmósfera para contener vapor de agua es muy dependiente de la temperatura, la cantidad de vapor de agua en la atmósfera está regulada por la propia temperatura de la Tierra, que aumenta a medida que el planeta sufre el calentamiento. Esto implica que el vapor de agua sigue y amplifica los cambios en la temperatura global que son inducidos por otras causas. Las actividades humanas no han tenido un efecto directo significativo en los flujos globales netos de vapor de agua hacia/ desde la atmósfera<sup>16</sup> (sesión 3), aunque a escala local han cambiado dichos flujos mediante la tala de bosques o la creación de sistemas de riego.

La situación es muy distinta para algunos de los otros gases de efecto de invernadero, en los que las actividades humanas han tenido un impacto directo. Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, así como las de metano y óxido nítrico, han aumentado radicalmente en las últimas décadas como resultado de la acción humana. Los registros de los sedimentos y los testigos de hielo muestran que la concentración de todos esos gases en la atmósfera es ahora superior a lo que era mucho antes de la evolución de los seres humanos modernos. De hecho, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera no ha sido significativamente superior a lo que es ahora, al menos durante los últimos 20 millones de años de la historia del planeta<sup>17</sup>.

El calentamiento inicial derivado del aumento de las concentraciones de gases de efecto de invernadero ha sido amplificado por procesos de retroalimentación que lo han ido reforzando. Se trata de procesos inducidos por el cambio climático y que, en consecuencia, implican un mayor calentamiento. Además de los procesos de retroalimentación del hielo marino del Ártico y del vapor de agua, descritos anteriormente, otro proceso de retroalimentación muy importante está relacionado con los "sumideros de carbono", que absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera. No todo el CO<sub>2</sub> que se libera a la atmósfera por las actividades humanas permanece allí. Más de la mitad del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera por la combustión de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo es eliminado por los sumideros de CO<sub>2</sub> de la tierra y de los océanos. La fracción de las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el ser humano y eliminadas por esos sumideros se ha reducido durante los últimos 50 años<sup>12</sup>. Existen pruebas que demuestran que seguirá reduciéndose en las próximas décadas, según los escenarios futuros de elevadas emisiones<sup>12</sup> (Recuadro 2). Si el debilitamiento de los sumideros naturales de CO<sub>2</sub> continúa, un porcentaje mayor de emisiones se quedará en la atmósfera, por lo que será necesaria una mayor reducción de las emisiones para conseguir objetivos específicos en términos de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

A menor escala, uno de los cambios más importantes en el clima es el aumento observado en los acontecimientos extremos (olas de calor, tormentas e inundaciones)<sup>2</sup>. Además, el clima regional está a menudo relacionado directamente con el comportamiento de patrones específicos de variabilidad climática, como los sistemas del monzón, y esos patrones pueden verse influenciados por un clima cada vez más cálido<sup>16</sup> (sesión 3),<sup>19</sup>. Los cambios en los acontecimientos extremos y en los patrones de variabilidad natural pueden acarrear consecuencias dramáticas para las sociedades humanas que se han acostumbrado o dependen de patrones de temperatura, viento y lluvias establecidos desde hace mucho tiempo en regiones específicas. La siguiente sección trata sobre algunas de las consecuencias y riesgos que la interferencia con el clima plantea a la sociedad.

# El ciclo global del carbono

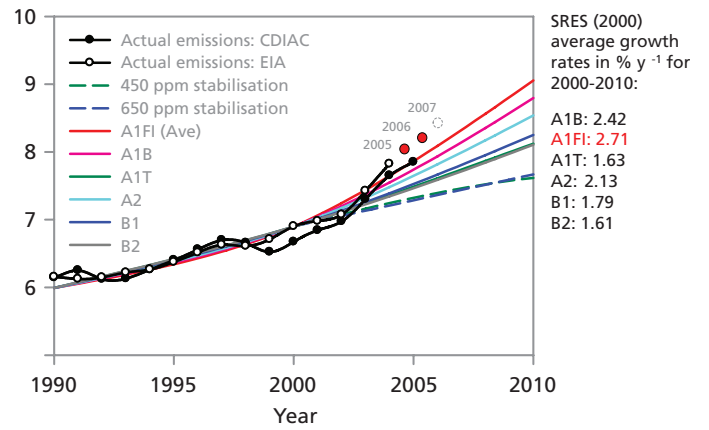
Dr. Michael R. Raupach, [Michael.Raupach@csiro.com](mailto:Michael.Raupach@csiro.com), Prof. Nicolas Gruber, [nicolas.gruber@env.ethz.ch](mailto:nicolas.gruber@env.ethz.ch)  
 Dr. Josep G. Canadell, [Pep.Canadell@csiro.au](mailto:Pep.Canadell@csiro.au)

## RECUADRO 2

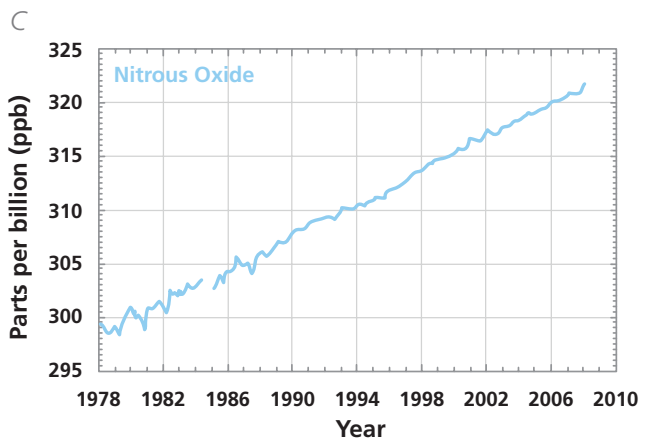
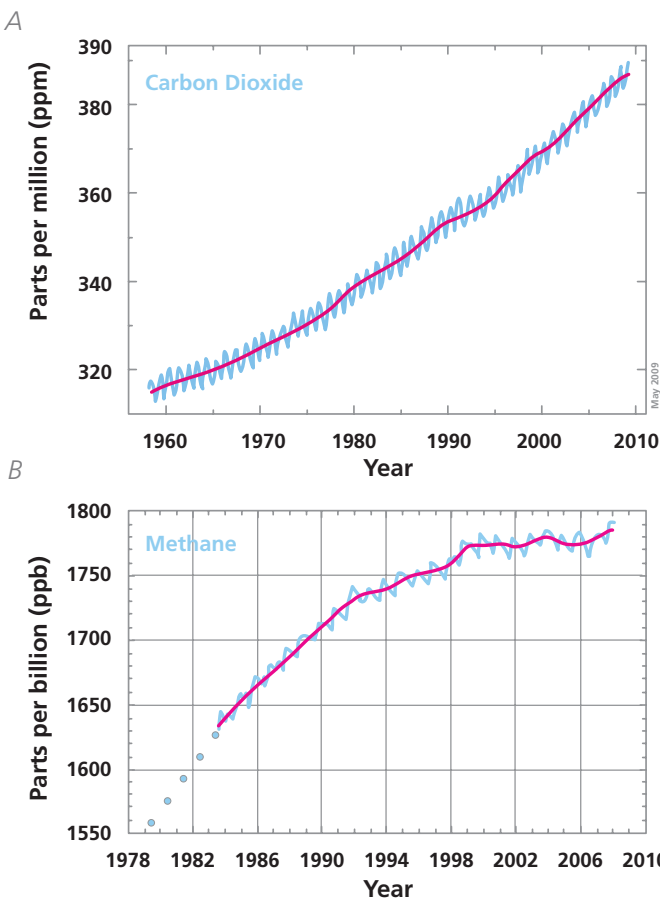
El ciclo global del carbono está en un fuerte desequilibrio a causa de la entrada de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, procedente de la combustión de combustibles fósiles y del cambio en el uso del suelo. En la actualidad, los combustibles fósiles representan cerca del 85% del total de las emisiones, y el cambio en el uso del suelo representa un 15%. Las emisiones totales han crecido de forma exponencial en cerca de un 2% anual desde 1800. Sin embargo, las emisiones procedentes de combustibles fósiles se aceleraron a partir del año 2000 y pasaron a crecer en un 3,4% anual, una tasa de crecimiento observada que está en el límite superior del rango de tasas de crecimiento contemplado en los escenarios previstos por el IPCC. La totalidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> son responsables de 2/3 del crecimiento del forzamiento radiativo de los gases de efecto de invernadero.

Sin los sumideros de CO<sub>2</sub>, que eliminan y almacenan el CO<sub>2</sub> procedente de la atmósfera, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> provocadas por el ser humano desde el año 1800 habrían provocado el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico desde sus valores preindustriales de 280 ppm hasta casi 500 ppm. Sin embargo, el desequilibrio del ciclo de carbono provoca que la gran aportación humana de CO<sub>2</sub> se reparta entre los almacenes de carbono de la atmósfera, la tierra y los océanos. En consecuencia, los sumideros terrestres y oceánicos de CO<sub>2</sub> han estado constantemente absorbiendo más de la mitad del total de emisiones de CO<sub>2</sub> desde 1800, y la acumulación real de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado la concentración de CO<sub>2</sub> hasta alcanzar solo las 385 ppm (ha crecido a un ritmo de 2 ppm anuales). Sin embargo, estos sumideros naturales de CO<sub>2</sub> son vulnerables al clima y al cambio del uso del suelo: es muy probable que se debiliten en el futuro a causa de varios efectos, entre los que se incluye el aumento de la acidificación oceánica, los cambios en la circulación oceánica, y las restricciones relacionadas con el agua, la temperatura y los nutrientes para la absorción terrestre de CO<sub>2</sub>. Asimismo, los reservorios de carbono anteriormente inertes pueden movilizarse y liberarse en la atmósfera como CO<sub>2</sub> o metano, un gas con un efecto de invernadero más potente. Entre los reservorios que son motivo de preocupación se incluye el carbono de turberas tropicales, que es vulnerable al desmonte y al drenaje del suelo, y los grandes depósitos de carbono orgánico del suelo permanentemente helado del Ártico, que son vulnerables al calentamiento.

Existen trabajos recientes que están empezando a cuantificar el efecto amplificador de esas vulnerabilidades sobre el cambio climático. Existe cada vez más confianza en que su resultado neto será ampliar los incrementos de CO<sub>2</sub> y de metano en la atmósfera hasta 2100, lo que ampliará, por tanto, el cambio climático. El factor de amplificación no está bien limitado, y las mejores estimaciones actuales van desde prácticamente cero hasta más del 50%. Según el escenario de emisiones A2 del IPCC<sup>1</sup>, que predice un calentamiento de la Tierra de cerca de 4 °C sin interacciones entre el clima y el ciclo de carbono, se anticipa un incremento adicional de entre 0,1 y 1,5 °C a causa de la vulnerabilidad de los sumideros terrestres y oceánicos. El efecto adicional de la aceleración de las emisiones de metano y de CO<sub>2</sub> por el deshielo de los suelos permanentemente helados del Ártico es potencialmente muy significativo, pero todavía no se ha cuantificado.



Emisiones de combustibles fósiles y CO<sub>2</sub> globales observadas<sup>18</sup>, comparadas con las medias de 6 grupos de escenarios del Informe especial del IPCC sobre escenarios de emisiones (líneas de colores) y el rango abarcado por todos los escenarios individuales (sombreado en gris). Los datos de emisión proceden de dos fuentes: El Centro de Análisis de Información sobre el Dióxido de Carbono Estadounidense (CDIAC) y la Agencia Internacional de Energía (AIE). Cifras actualizadas utilizando los últimos datos disponibles ([www.globalcarbonproject.org](http://www.globalcarbonproject.org)) desde la publicación original de este informe.



**Figura 5**  
 Las tendencias en las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto de invernadero (A) dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, en ppm (partes por millón) desde 1958 hasta la actualidad<sup>13</sup>; (B) metano, CH<sub>4</sub>, en ppb (partes por mil millones) desde 1979 hasta la actualidad<sup>14</sup>; y (C) óxido nítrico, N<sub>2</sub>O, en ppb (partes por mil millones) desde 1978 hasta la actualidad<sup>2,13,14,15</sup>.

## MENSAJE CLAVE 2

# TRASTORNO SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL

La comunidad científica aporta mucha información para respaldar los debates sobre “un cambio climático peligroso”. Algunas observaciones recientes muestran que las sociedades y los ecosistemas son muy vulnerables, incluso a niveles moderados de cambio climático, y que están particularmente en riesgo las naciones y comunidades pobres, los servicios de los ecosistemas y la diversidad. Para las sociedades contemporáneas será difícil sobreponerse a aumentos de temperatura por encima de los 2 °C. Es probable que esto cause grandes trastornos sociales y medioambientales durante el resto del siglo e incluso después.

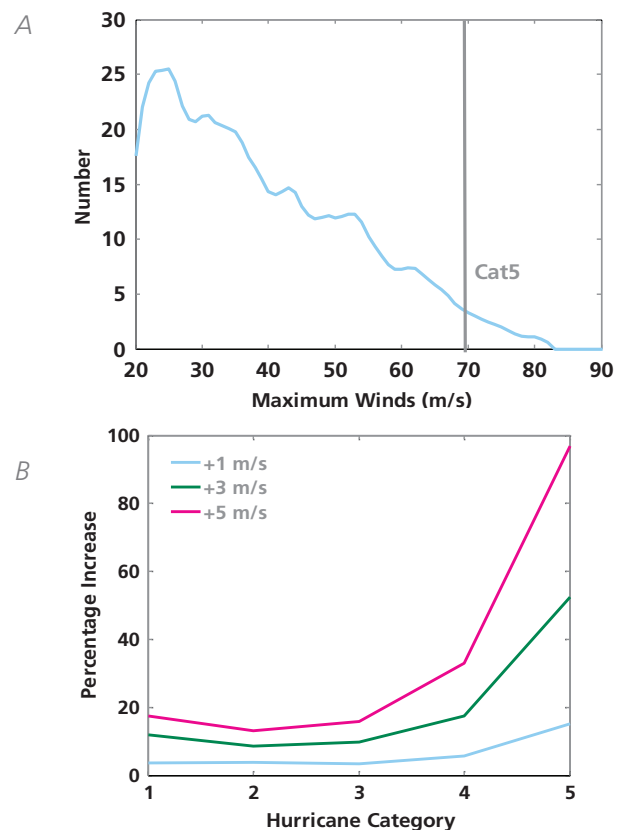
Definir la expresión “cambio climático peligroso” es, en última instancia, un juicio de valor que deben hacer las sociedades en su conjunto. Como mínimo hay tres tipos de consideraciones importantes: (i) los efectos negativos para los seres humanos y los ecosistemas, que ocurren en varios niveles del cambio climático; (ii) los niveles de los impactos negativos que las sociedades están dispuestas a tolerar; y (iii) los niveles de cambio climático en los que se podrían haber cruzado los denominados puntos de inflexión, donde el cambio deja de ser lineal y reversible y pasa a ser abrupto, considerable y potencialmente irreversible en periodos de tiempo relevantes para la sociedad contemporánea. En la actualidad, parece que no hay demasiado debate al respecto<sup>16</sup> (sesión 39), a pesar de que la investigación científica proporciona mucha información crítica y relevante para fomentarlo.

Aunque aún no se ha alcanzado un consenso global sobre qué niveles de cambio climático podrían definirse como “peligrosos”, la idea de mantener el aumento de la temperatura global en un máximo de 2 °C por encima de los niveles preindustriales ha logrado mucho apoyo<sup>20</sup>. A esta idea se hace a menudo referencia como “la barrera de seguridad de los 2 °C”. El IPCC<sup>21</sup>, así como las investigaciones científicas más recientes<sup>31</sup>, indican que incluso con aumentos de temperatura inferiores a los 2 °C, los impactos pueden ser significativos, aunque algunas sociedades podrían hacer frente a dichos impactos mediante estrategias proactivas de adaptación. Más allá de los 2 °C, las posibilidades de adaptación de la sociedad y los ecosistemas se reducen con rapidez y aumenta el riesgo de que se produzca un trastorno social debido a los impactos sobre la salud, la escasez de agua y la inseguridad alimentaria.

Uno de los mejores indicadores de los impactos del cambio climático sobre las sociedades es la salud y el bienestar humanos (Recuadro 3). El aumento observado de la temperatura hasta la fecha, de aproximadamente 0,7 °C, ya está afectando a la salud en muchas sociedades; el creciente número de acontecimientos climáticos extremos, como las olas de calor, las inundaciones y las tormentas, está causando una cifra creciente de muertes y lesiones derivadas de desastres naturales relacionados con el clima<sup>1</sup>. Más allá de los impactos directos sobre la salud, el cambio climático también afecta a los factores subyacentes y determinantes de la salud: cantidad y calidad de los alimentos, de los recursos hidrológicos, y el control ecológico de los vectores de las enfermedades<sup>16</sup> (sesión 14).

El nexo entre el cambio climático, la salud humana y los sistemas hidrológicos es particularmente fuerte. En lo que respecta a la salud, los impactos del

cambio climático en los sistemas hidrológicos ya son evidentes en muchas regiones del mundo y es posible que estos se aceleren durante varias décadas, independientemente de los futuros acuerdos que se alcancen para frenar las emisiones de gases de efecto de invernadero (Recuadro 4). Por ejemplo, las sequías y la falta de lluvias ya están conllevando inestabilidad social, inseguridad



**Figura 6**  
(A) Las cifras de ciclones tropicales en el Atlántico Norte cada velocidad máxima del viento figuran en el eje horizontal. Los ciclones tropicales más intensos (categoría 5) presentan vientos de unas velocidades de 70 m/s o superiores. (B) Aumento proporcional por categoría de ciclón (huracán), que va de 1 (menos intensa), a 5 (la más intensa), derivado de incrementos en las velocidades máximas del viento de 1, 3 y 5 m/s. Cabe destacar el aumento desproporcionadamente grande de los ciclones tropicales más intensos, con discretos incrementos en las velocidades máximas de viento, en comparación con los aumentos de ciclones de menor intensidad<sup>23</sup>.

# Efectos del cambio climático sobre la salud y el bienestar de las personas

RECUADRO 3

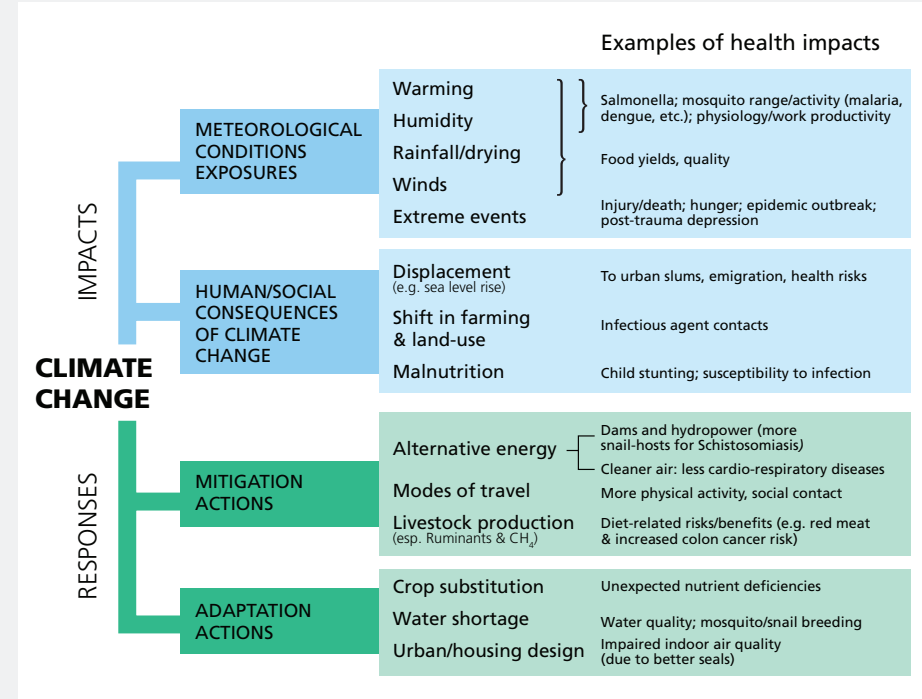
Prof. Anthony McMichael, [Tony.McMichael@anu.edu.au](mailto:Tony.McMichael@anu.edu.au) y Dr. Roberto Bertollini, [Bertollini@who.int](mailto:Bertollini@who.int)

Los riesgos graves, y cada vez más manifiestos, para la salud humana que se derivan del cambio climático ponen de relieve el impacto potencialmente profundo de los sistemas de "mantenimiento vital" de la Tierra. Este "signo vital" debería contribuir a motivar la acción gubernamental. Las poblaciones con bajos ingresos y aquellas que son vulnerables desde el punto de vista geográfico son las que corren más riesgos. Esas poblaciones han contribuido poco a generar el problema, pero sufren buena parte del riesgo para la salud que este provoca.

Los riesgos se derivan de presiones directas (por ejemplo, olas de calor, desastres climáticos, deshidratación en el lugar de trabajo), de alteraciones ecológicas (como la alteración de los patrones epidemiológicos de las enfermedades infecciosas) y trastornos en los ecosistemas de los que depende la humanidad (por ejemplo, las consecuencias sanitarias derivadas de la reducción de la producción alimentaria), del desplazamiento de la población y de los conflictos por los recursos que se están agotando (el agua, las tierras fértiles y la pesca). La descongelación de los casquetes glaciares puede movilizar contaminantes químicos hasta ahora atrapados en el hielo que podrían llegar a la red alimentaria marina.

En la actualidad ya podemos anticipar muchos impactos específicos del cambio climático y, en algunos casos, podemos incluso observar algunos de ellos. Los estudios basados en la modelos del clima indican que un aumento de 2 °C podría provocar reducciones de entre el 5 y el 20% de las producciones de cereales en Asia meridional, en el Sudeste asiático y en el África subsahariana, lo que acentuaría de forma muy notable la desnutrición y las consecuencias negativas para la salud (en particular en el desarrollo intelectual y físico de los niños). En muchas poblaciones urbanas, un incremento de 2 °C aumentaría los casos de mortalidad anual por olas de calor, ya que se prevé que al menos se duplicarán. Un aumento de 2 °C conllevaría un incremento de entre el 50-100% en la distribución geográfica de transmisión potencial de la esquistosomiasis (que se contrae a través de un parásito presente en el agua) en China, lo que pondría en peligro a decenas de millones de personas. Un experimento reciente realizado en la costa de Alaska puso de manifiesto que un incremento de 1 °C en la temperatura del agua permitió, al superar un umbral, la proliferación bacteriana durante la época estival en el marisco, lo que provocó gastroenteritis en los consumidores.

Ya son necesarias estrategias de adaptación destinadas a la protección de la salud, tanto para los riesgos actuales como para los que se prevén en el futuro. La Organización Mundial de la Salud respalda a los Estados miembros



en sus actividades de evaluación formal y estandarizada del riesgo para la salud en cada país y en la planificación de estrategias de adaptación al cambio climático. Mientras tanto, muchas ventajas positivas en la salud pueden lograrse a través de programas de actividad física y de mejora de la calidad del aire, y de la adopción de dietas equilibradas<sup>16</sup> (sesión 14).

# Recursos hídricos y cambio climático: Construyendo resiliencia para conseguir un futuro sostenible

RECUADRO 4

Prof. Maria Carmen Lemos, [lemos@umich.edu](mailto:lemos@umich.edu) y Prof. Torkil Jønych Clausen, [tjc@dhigroup.com](mailto:tjc@dhigroup.com)

El cambio climático suele afectar a las sociedades humanas a través del sistema hidrológico, ya sea directa o indirectamente, mediante una combinación de cambios en la disponibilidad del agua, acelerando las inundaciones y las sequías, así como a través de elevaciones del nivel del mar y las tormentas. Estos impactos ya están teniendo lugar y quienes resultan más afectados son las personas y países más pobres y desfavorecidos. Muchos de estos impactos se multiplicarán independientemente de los futuros acuerdos y acciones para reducir las emisiones. Hoy en día ya sabemos lo suficiente como para empezar a generar capacidad de adaptación entre las poblaciones y los ecosistemas más vulnerables. Sin embargo, aún hemos de seguir mejorando nuestro conocimiento y capacidad de modelar los procesos ambientales, físicos y sociales que afectan a la resiliencia de los sistemas hídricos con el fin de asegurar soluciones sostenibles de cara al futuro. Una buena gobernanza es un elemento clave para una adaptación exitosa, trabajando a partir de enfoques integrados y adaptativos desde el nivel comunitario hasta las cuencas fluviales transfronterizas. Es esencial compartir datos, información y conocimiento de manera abierta y transparente entre todas las partes interesadas <sup>16</sup> (sesión 29).



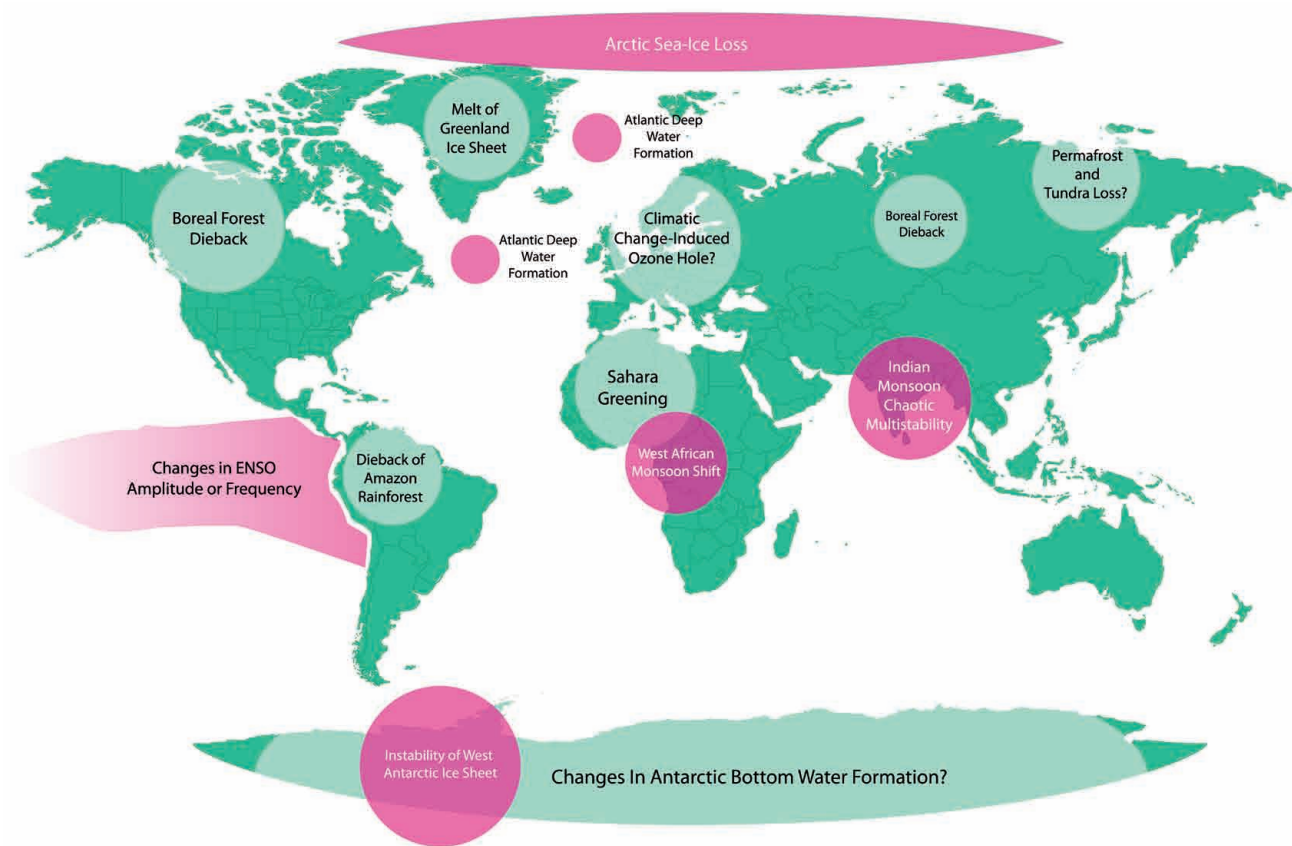
Fotografía: John McConnico

alimentaria y problemas de salud a largo plazo en algunas regiones, con el consecuente daño o destrucción de sus modos de vida<sup>16</sup> (sesión 14). Dichos impactos a menudo impulsan una estrategia de supervivencia a corto plazo a expensas de la adaptación a largo plazo. Sin embargo, en la actualidad necesitamos con urgencia medidas de adaptación para disminuir los impactos del cambio climático. Teniendo en cuenta las considerables incertidumbres en torno a las previsiones de los impactos climáticos sobre los recursos hidrológicos a escala local y regional, es probable que las estrategias de adaptación más eficaces sean la generación de capacidad de recuperación, la gestión de riesgos y el uso de una gestión adaptativa<sup>16</sup> (sesión 29). Incluso con una adaptación eficaz,

los impactos del cambio climático sobre los recursos hidrológicos en muchas regiones del mundo serán graves con tan solo aumentos de la temperatura de entre 1,0 y 1,5 °C<sup>23</sup>.

Los recursos hidrológicos son también un problema creciente para las zonas urbanas. La falta de agua limpia en muchas de las nuevas megaciudades con más de diez millones de habitantes, a menudo pobres, es ya motivo de una gran preocupación. En muchos casos, la presión sobre el suministro de agua se ve acentuada por los cambios en los patrones de las precipitaciones y en la disponibilidad del agua a causa del cambio climático. Existe un flujo continuo





**Figura 7**  
 Mapa de los "puntos de inflexión" climáticos posibles. Los elementos de inflexión son características climáticas regionales que podrían mostrar un comportamiento de tipo umbral en respuesta al cambio climático impulsado por el ser humano; es decir, un ligero cambio en el clima en un punto crítico podría desencadenar un giro abrupto y/o irreversible en el elemento de inflexión. Es probable que las

consecuencias de dichos giros en el elemento de inflexión sean graves tanto para las sociedades como para los ecosistemas. Los signos de interrogación indican los sistemas cuyo estatus de elemento de inflexión es particularmente incierto<sup>27,30</sup>.

de personas hacia estas nuevas megaciudades, algunas de las cuales proceden de zonas azotadas por la sequía en regiones vecinas, lo que acentúa aún más el problema del agua.

La mayoría de los efectos más dañinos del cambio climático están asociados con acontecimientos extremos (acontecimientos relativamente extraños y de alta intensidad, como ciclones y tormentas) más que con incrementos lentos en los valores medios de los parámetros climáticos. Además, los acontecimientos extremos pueden responder al cambio climático haciéndose "más extremos". Por ejemplo, incluso con un modesto incremento de la velocidad del viento en superficie de 5 metros por segundo en los ciclones tropicales, algo que sería posible con tan solo un aumento de 1 °C en la temperatura del océano, el número de los ciclones más intensos y destructivos (Categoría 5) podría duplicarse, mientras que la incidencia de los ciclones de menor intensidad experimentaría aumentos mucho menores (Figura 6). Las observaciones de la última década en el Atlántico Norte, en las que el número de ciclones de categoría 5 ha aumentado en un 300-400%, respaldan este análisis<sup>24</sup>. Las consecuencias de estos acontecimientos para las comunidades costeras de todo el mundo, desde pequeños pueblos pesqueros en los atolones del Pacífico, hasta las megaciudades de los deltas de los ríos chinos, pueden ser graves, en particular si se suceden en conjunto con un aumento del nivel del mar y una serie de factores locales que aumenten su vulnerabilidad.

La creciente acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es importante para los ecosistemas marinos, puesto que aumenta la acidez oceánica (Recuadro 5). A pesar de que no están claros los efectos exactos de la acidificación oceánica, se espera que los organismos que producen carbonato de calcio sean especialmente vulnerables. Algunos animales, como los corales, pueden verse particularmente amenazados durante el próximo siglo, posiblemente incluso lleguen a extinguirse, si las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> continúan aumentando sin que se les ponga freno. El registro geológico indica que la recuperación del ecosistema de

un cambio de tal magnitud en la acidez oceánica podría llevar centenares, miles o incluso millones de años, aunque una verdadera recuperación es imposible porque las extinciones son irreversibles<sup>10</sup>.

El cambio climático tiene consecuencias para la biodiversidad en general y para la multitud de usos que los seres humanos obtienen de unos ecosistemas variados y en buen estado. Se avecina una catástrofe para la biodiversidad si la temperatura media global aumenta por encima de la barrera de seguridad de los 2 °C, se extiende la acidificación oceánica y el aumento del nivel del mar<sup>26</sup>. Estos factores de tensión relacionados con el clima interactuarán con un amplio abanico de factores de tensión sobre la biodiversidad ya existentes. Dicha catástrofe se expresará mediante la extinción de una parte notable de especies biológicas en los próximos 100 años, una reducción considerable de la variedad y un mayor riesgo de una eventual extinción para otras especies, así como la degradación de los servicios de los ecosistemas (Recuadro 6). Si limitamos el aumento de la temperatura a 2 °C como máximo y ponemos rápidamente en práctica una adaptación sólida y proactiva en la gestión y las políticas de conservación, podremos limitar la magnitud de la crisis, aunque no llegaremos a eliminarla por completo<sup>16</sup> (sesión 31).

Las estimaciones sobre los impactos del cambio climático en sectores críticos como los recursos hidrológicos y la biodiversidad, y en medidas más integradoras de bienestar como la salud, son enfoques comunes para definir un cambio climático peligroso. Las investigaciones más recientes sobre los elementos de inflexión en el Sistema Terrestre proporcionan otro cálculo de las consecuencias potencialmente peligrosas para la humanidad derivadas de no ponerle freno al cambio climático<sup>27</sup>. Los elementos de inflexión se dan cuando se produce un pequeño cambio en una variable importante, como la temperatura, que causa un cambio rápido significativo e inesperado en una característica del clima, alterando su estado o su patrón de comportamiento.



# La acidificación del planeta Tierra

Dr. Carol Turley, [CT@pml.ac.uk](mailto:CT@pml.ac.uk) y Prof. Mary Scholes, [Mary.Scholes@wits.ac.za](mailto:Mary.Scholes@wits.ac.za)

## RECUADRO 5

La acidificación de las biosferas terrestres y oceánicas del planeta Tierra ya está teniendo lugar y está siendo provocada por dos fuentes antropogénicas distintas.

La acidificación del suelo la causan el ácido nítrico y el ácido sulfúrico, y aunque su importancia se puso de manifiesto durante los años 70, sigue siendo un problema en el mundo desarrollado y un problema cada vez mayor en los países en vías de desarrollo. La acidificación del suelo desemboca en cambios en la diversidad de las especies, en la productividad primaria neta y en un desequilibrio de los iones de nitrógeno inorgánico en el suelo, así como en una eutrofización de los organismos de agua dulce. No se ha investigado ni se entiende bien la interacción entre los sistemas terrestres y acuáticos.

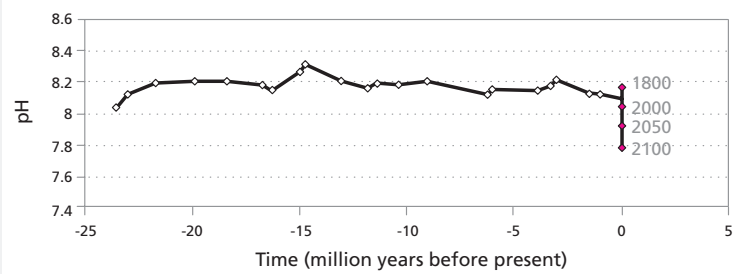
La acidificación de los océanos es una consecuencia directa de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera; sus consecuencias oceánicas globales están solo empezando a manifestarse. Los océanos ya han absorbido entre un 27 y un 34% del CO<sub>2</sub> producido por los seres humanos desde la revolución industrial. Aunque esto ha limitado la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, su costo ha sido un cambio radical en la composición química de los océanos. En concreto, y algo que genera gran preocupación, son los cambios observados en el pH de los océanos y las concentraciones de iones de carbonato y bicarbonato.

Las pruebas indican que la acidificación de los océanos es una amenaza grave para muchos organismos y puede tener consecuencias para las redes alimentarias y los ecosistemas, así como los valiosísimos servicios que estos proporcionan. Por ejemplo, es probable que la erosión supere el crecimiento de los arrecifes tropicales de coral con concentraciones de 450-480 ppm de CO<sub>2</sub>, puesto que ya se observa una reducción del 19% en el crecimiento de los corales de la Gran Barrera de Arrecifes.

Cuando la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> alcance las 450 ppm, habrá grandes áreas de los océanos polares que serán corrosivos para las conchas de los principales calcificadores marinos, un efecto que será más notable en el Ártico. Por ahora, ya se ha observado una pérdida del peso de la concha de los organismos planctónicos calcificadores de la Antártida. La reducción del pH también puede hacer que los océanos sean más ruidosos dentro del rango audible, lo que podría tener consecuencias para la vida marina, así como para los dispositivos científicos, comerciales y navales que emplean la acústica

de los océanos.

La tasa de cambio de la composición química de los océanos es muy elevada (véase la figura), y es más rápida que en las anteriores extinciones provocadas por la acidificación oceánica en la historia de la Tierra. Los ecosistemas marinos tardaron cientos de miles de años en recuperarse de ese proceso. La acidificación oceánica continuará asociada a las futuras emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, de modo que la única vía para reducir su impacto es recortar las emisiones de forma sustancial y urgente.



Acidez del océano (pH) a lo largo de los últimos 25 millones de años y previsiones para el año 2100<sup>25</sup>. Cuanto más bajo sea el pH, mayor acidez tendrán los océanos.

# Biodiversidad y cambio climático: Conclusiones de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio

Prof. Harold Mooney, [hmooney@stanford.edu](mailto:hmooney@stanford.edu) y Dr. Anne Larigauderie, [anne@diversitasinternacional.org](mailto:anne@diversitasinternacional.org)

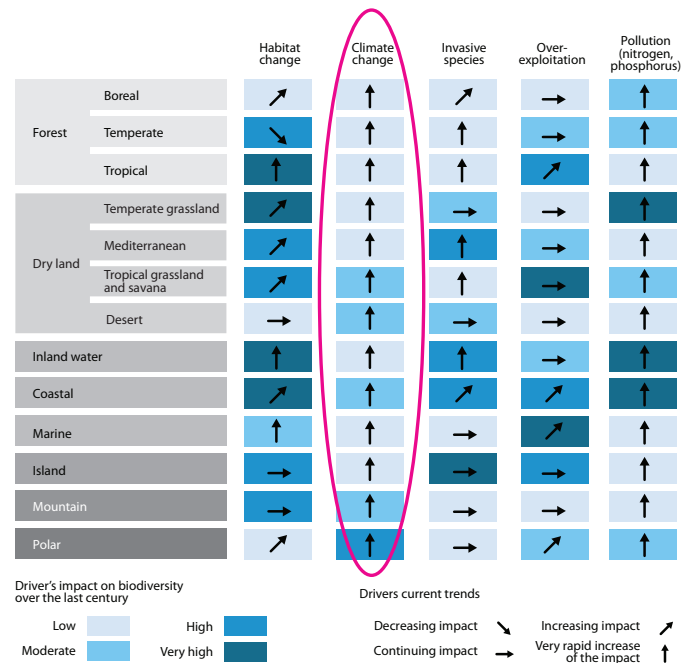
## RECUADRO 6

A lo largo de los últimos 50 años, los seres humanos han cambiado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro periodo de tiempo comparable en toda la historia de la humanidad. Esto ha dado como resultado una pérdida sustancial, y en buena medida irreversible, de la diversidad de la vida en la Tierra. La distribución de las especies sobre la Tierra está siendo cada vez más homogénea, como resultado tanto de la prevalencia de los ecosistemas alterados como de la proliferación de especies exóticas invasoras. Al mismo tiempo, los seres humanos hemos aumentado en hasta 1.000 veces la tasa de extinción de las especies en comparación con las tasas anteriores habituales durante la historia del planeta. Ese incremento resulta del uso directo del suelo y de sus impactos indirectos, como pueden ser la pérdida de hábitats y la fragmentación del paisaje. Por ejemplo, en la actualidad entre un 10 y un 30% de las especies de mamíferos, aves y anfibios están en peligro de extinción. En términos globales, los cambios efectuados en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de que se produzcan cambios no lineales con consecuencias importantes para el bienestar de los seres humanos. Además de las introducciones y extinciones de especies, entre estas consecuencias se incluyen la destrucción de los recursos pesqueros, la eutrofización y la hipoxia en los sistemas de agua dulce, la aparición de enfermedades y los cambios climáticos a escala regional.

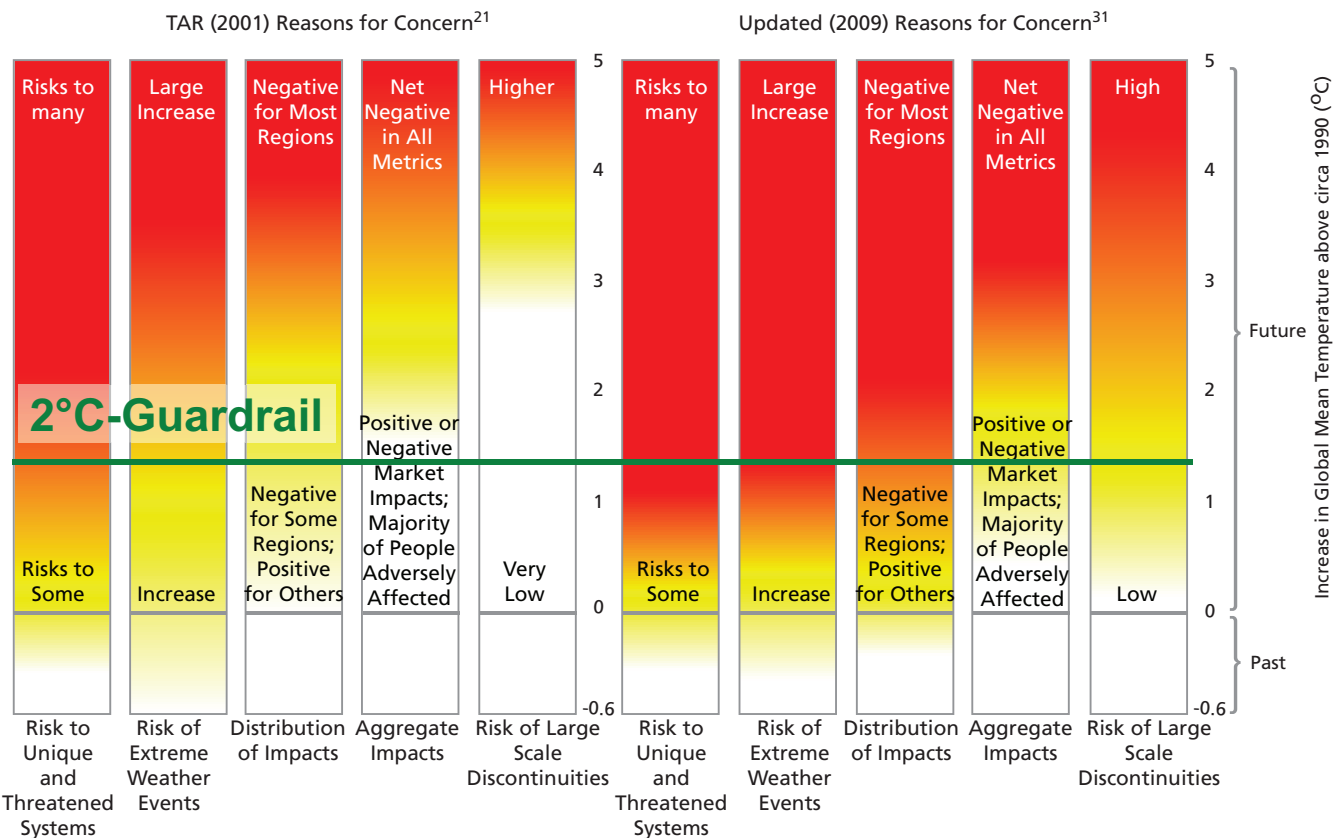
Los cambios sobre los ecosistemas han contribuido a generar beneficios significativos para el bienestar de los seres humanos y su desarrollo económico, pero para ello ha sido necesario pagar unos costes cada vez más altos en forma de degradación de muchos de los servicios proporcionados por los ecosistemas. En particular, el aumento de varios servicios de producción (especialmente cultivos, ganado y acuicultura) ha supuesto un gran costo para otros productos como los dendrocombustibles y el agua dulce, y para servicios de regulación críticos, incluidas la regulación del clima a nivel local y regional, la calidad del aire y los riesgos naturales, así como muchos valores espirituales, culturales y estéticos. La degradación de los servicios proporcionados por los ecosistemas a menudo causa un daño significativo en el bienestar humano y representa una pérdida de un activo natural o de la riqueza de un país. Salvo que se les haga frente, estos impactos también reducirán de forma significativa los beneficios que las generaciones futuras obtendrán de los ecosistemas.

La degradación de los servicios proporcionados por los ecosistemas podría empeorar notablemente durante la primera mitad de este siglo. Las contribuciones directas del cambio climático incluyen, entre otras causas, las siguientes:

- Posibles impactos futuros sobre la biodiversidad: Hacia finales de siglo, puede que el cambio climático y sus impactos sean el principal factor que ocasione la pérdida de biodiversidad y de los cambios en los servicios proporcionados por los ecosistemas en todo el planeta.
- Impacto perjudicial neto sobre los servicios de los ecosistemas: El compendio de las pruebas científicas existentes indica que, si la temperatura media de la superficie del planeta aumenta en más de 2 °C por encima de los niveles preindustriales, se producirá un impacto perjudicial neto significativo sobre los servicios de los ecosistemas en todo el mundo.



Impactos y tendencias actuales de distintos factores en los grandes biomas del mundo. Actualmente los impactos del cambio climático se clasifican entre bajos y moderados, y se espera que cobren cada vez más importancia durante los próximos 50 años. Esta importancia está estrechamente vinculada a la capacidad de conseguir que el aumento de las temperaturas no supere los 2 °C<sup>26</sup>.



**Figura 8**  
 Diagrama que muestra los impactos potenciales del cambio climático en el aumento de la temperatura promedio global. Un cero en la escala de temperaturas se corresponde aproximadamente con la temperatura media de 1990. La parte inferior de la escala de temperatura corresponde a la temperatura media preindustrial. El nivel de riesgo o gravedad de los impactos potenciales aumenta con la intensidad del color rojo. Se muestra la barrera de seguridad de los 2 °C a efectos de referencia.

La figura 7 muestra la ubicación de una serie de esos elementos de inflexión, la activación de cualquiera de ellos desencadenaría un trastorno social para un gran número de personas. Los elementos de inflexión mostrados podrían activarse este siglo a causa del cambio climático provocado por el ser humano. Esto ocasionaría un cambio significativo en periodos de tiempo que oscilan entre una década o incluso menos (como el caso del hielo marino del Ártico en verano y los monzones asiáticos), hasta varios siglos o un milenio (como sucede con el casquete glaciar de Groenlandia). En el caso de dos de estos elementos de inflexión (el hielo marino del Ártico en verano y el casquete glaciar de Groenlandia), un aumento en la temperatura media global de entre 1 y 2 °C posiblemente bastaría para activarlos<sup>27</sup>. No obstante, otro estudio<sup>28</sup> indica que un calentamiento de la Tierra medio de 3,1 °C sería el umbral para el casquete glaciar de Groenlandia. Sin embargo, todavía desconocemos la magnitud del calentamiento necesario para activar la mayoría de los restantes elementos de inflexión, pero incluso un ligero riesgo de activarlos se consideraría peligroso<sup>24</sup>. No solo los aumentos de temperatura pueden desencadenar los acontecimientos de inflexión. Existen estudios recientes que sugieren que la acidificación oceánica (Recuadro 5) puede provocar la creación de zonas en el océano con niveles reducidos de oxígeno ("agujeros marinos de oxígeno"), que tendrían consecuencias devastadoras para la vida marina<sup>29</sup>.

Una de las respuestas humanas más comunes ante elementos de tensión medioambiental graves, como el deterioro de los recursos hidrológicos o del suministro alimentario, consiste en trasladarse a lugares que ofrezcan mejores condiciones. El cambio brusco de un elemento de inflexión, como una reducción de las precipitaciones durante el monzón asiático o la pérdida eventual de la capacidad de almacenamiento de agua en los glaciares del Himalaya, conllevaría una tensión medioambiental de profundas consecuencias al reducirse la disponibilidad del agua en la llanura Indo-Gangéctica. La posibilidad de que hubiese una gran oleada de personas que se viesan obligadas a emigrar a causa de los graves impactos climáticos ha hecho surgir la inquietud ante la idea de

que el cambio climático podría convertirse en poco tiempo en un gran problema (Recuadro 7).

En 2001, el IPCC<sup>21</sup> resumió los tipos de análisis descritos anteriormente utilizando las mejores pruebas científicas disponibles en aquella época en términos de "razones para la preocupación". La representación visual resultante de dicha síntesis, el denominado 'burning embers diagram' (diagrama de brasas ardientes), muestra el aumento del riesgo de que se produzcan varios tipos de impactos climáticos con un aumento en la temperatura media global. Utilizando la misma metodología, los motivos de preocupación se han actualizado en función de las investigaciones más recientes<sup>31</sup>.

Algunas aportaciones acerca de la definición de cambio climático peligroso resultan obvias al comparar los diagramas de 2001 y 2009 (Figura 8). En primer lugar, según los análisis más recientes, el riesgo de impactos perjudiciales a causa del cambio climático se manifiesta ahora a niveles significativamente inferiores de aumentos de la temperatura media global. En segundo lugar, la barrera de seguridad de 2 °C, que se fijó en 2001 al considerarse que evitaría riesgos graves para los cinco motivos de preocupación, es en la actualidad inadecuada para evitar riesgos graves en muchos ecosistemas únicos y amenazados y para evitar un gran aumento en los riesgos asociados con los acontecimientos climáticos extremos. En tercer lugar, los riesgos de discontinuidades a gran escala, como son los elementos de inflexión descritos anteriormente, se consideraron muy bajos en 2001 con un aumento de la temperatura de 2 °C, pero ahora se consideran moderados para el mismo aumento de temperatura.

En resumen, aunque un aumento de 2 °C en la temperatura por encima de los niveles preindustriales sigue siendo la barrera de seguridad más frecuentemente citada para evitar un cambio climático peligroso, este conlleva, no obstante, riesgos significativos de impactos perjudiciales para la sociedad y el medio ambiente.

## Implicaciones del cambio climático para la seguridad

Prof. Ole Wæver, [ow@ifs.ku.dk](mailto:ow@ifs.ku.dk)

### RECUADRO 7

El cambio climático puede generar tensiones que aumenten la frecuencia de los conflictos violentos entre sociedades, cuyas causas son generalmente tensiones étnicas o políticas. Las presiones causadas por el cambio climático en esas sociedades debilitarán su capacidad para controlar las tensiones. Así, los continuos cambios en las condiciones de los asentamientos humanos, la agricultura, la minería, el transporte, las enfermedades y los desastres conllevan conflictos locales creados por la competencia, y conflictos internacionales causados principalmente por los movimientos migratorios y los cambios de poder.

Históricamente, la principal respuesta del ser humano ante los cambios climáticos, más allá de la capacidad de adaptación local, ha sido la emigración. En el pasado, cuando las comunidades humanas se enfrentaron de esta manera a cambios de una magnitud semejante, el mundo aún no estaba dividido en estados territoriales fuertemente regulados, y el clima cambiaba con mucha más lentitud que ahora. Actualmente, los estados se suelen oponer a las emigraciones a gran escala, lo que se convierte en una fuente de conflictos entre ellos<sup>39,40</sup>.

Algunos investigadores destacan que no se ha documentado en datos cuantitativos la correlación entre el cambio climático y los conflictos<sup>41</sup>; otros señalan que esto sería en todo caso improbable, dada la naturaleza de dichos conjuntos de datos y la relativamente reciente materialización de los impactos de la aceleración del cambio climático sobre las sociedades<sup>42,43</sup>. Buena parte de la investigación actual tiene por objetivo producir datos que estén mejor centrados en medir estas relaciones, y que, en consecuencia, puedan preparar a la sociedad internacional para gestionar los conflictos que resultan de esos procesos. Mientras tanto, abundan los análisis que no están a disposición del público. Los servicios de inteligencia y los militares colocan al cambio climático en una posición aún más central en sus preparativos frente a futuros conflictos<sup>44,45</sup>. Si las grandes potencias se ven envueltas en los conflictos, aún será mucho más difícil la cooperación para la elaboración de políticas climáticas.

Si la política climática internacional llega a verse como un fracaso manifiesto, los intentos unilaterales para manejar la situación de emergencia pueden ocasionar conflictos, por ejemplo, en materia de ingeniería geológica. Asimismo, tanto la propia política sobre cambio climático como su ausencia pueden llegar a ser objeto de conflictos internacionales o justificar medidas drásticas. Por ejemplo, como sucedió en la famosa caracterización que hizo el presidente de Uganda, Yoweri Museveni, sobre el cambio climático, al calificarlo de "un acto de agresión de los ricos contra los pobres".

Por norma general, cuando los problemas se formulan en términos de seguridad, los líderes se sienten con más libertad para adoptar medidas drásticas. Es crucial que este "empoderamiento impulsado por la seguridad" en el caso del cambio climático se "canalice" hacia fortalecer las instituciones internacionales, y no se centre en actos unilaterales de emergencia<sup>42,43,46</sup>.

Introducir la seguridad en la ecuación del cambio climático hace que corramos el riesgo de aumentar los círculos viciosos. En aquellas partes del mundo en las que la salud y el bienestar reciben son más afectadas por los impactos negativos del cambio climático será donde más aumente la probabilidad de que se produzcan conflictos, y esos conflictos reduzcan aún más los niveles de vida. Es probable que las partes más privilegiadas del planeta sean las primeras en advertir los efectos del estallido de estos conflictos, como puede ser la llegada de refugiados y enfermedades, y a medida que aumente la temperatura cada vez más verán reorganizada su agenda en materia de seguridad en torno al cambio climático.



Fotografía: John McCormico



## MENSAJE CLAVE 3

# ESTRATEGIA A LARGO PLAZO; METAS Y CALENDARIOS GLOBALES

Es necesario adoptar una mitigación rápida, sostenida y eficaz, basada en la coordinación de acciones globales y regionales, para evitar un “cambio climático peligroso”, independientemente de cómo se defina. Fijar objetivos menos estrictos para el año 2020 aumenta el riesgo de sufrir impactos graves, incluido el riesgo de cruzar puntos de inflexión, y hace más difícil y costosa la tarea de cumplir los objetivos para el 2050. Establecer un precio creíble a largo plazo para el carbono y adoptar políticas que promuevan la eficiencia energética y las tecnologías con bajas emisiones de carbono es esencial para conseguir una mitigación eficaz.

La meta de limitar el calentamiento a un aumento de la temperatura global media no superior a los 2 °C por encima de los niveles preindustriales desempeña un papel básico en los debates actuales sobre las políticas climáticas adecuadas. Tal como se describe en la sección anterior, un calentamiento de 2 °C plantearía, por sí mismo, un riesgo considerable para la sociedad humana y los ecosistemas naturales. Sin embargo, el hecho de que la temperatura media global ya ha aumentado en cerca de 0,7 °C y que las emisiones de gases de efecto de invernadero procedentes de actividades humanas siguen creciendo (Recuadro 2) hace que sea muy difícil conseguir una meta más ambiciosa. Debido únicamente a la inercia del sistema climático, el informe del IPCC de 2007<sup>2</sup> establece que es inevitable que alcancemos un aumento de la temperatura global de cerca de 1,4 °C por encima de los niveles preindustriales. También existe inercia en los sistemas humanos, pero es difícil cuantificarla y no se sabe con qué rapidez o hasta qué punto la sociedad podrá reducir o reducirá las emisiones de gases de efecto de invernadero.

¿Cuánto deben reducirse las emisiones para mantener al cambio climático dentro de la barrera de seguridad de 2 °C? El IPCC<sup>1</sup> estimó los niveles de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto de invernadero con los que el aumento de la temperatura media global se mantendría dentro de distintos rangos (Tabla 1). Las concentraciones se expresan tanto en CO<sub>2</sub> como en CO<sub>2</sub>-equivalente. El CO<sub>2</sub>-equivalente incluye los efectos de calentamiento combinados del CO<sub>2</sub> y de los gases de efecto de invernadero no originados por el CO<sub>2</sub> (excluido el vapor de agua), así como el efecto de enfriamiento neto de los aerosoles en la atmósfera. Los equivalentes de CO<sub>2</sub> se expresan como la cantidad equivalente de CO<sub>2</sub> necesaria para proporcionar el mismo calentamiento neto que el generado por esos otros gases y aerosoles. Los aerosoles son pequeñas partículas suspendidas en la atmósfera que reflejan la radiación entrante del sol y producen un efecto de enfriamiento. A medida que los reglamentos sobre contaminación atmosférica se endurezcan y disminuya la cantidad de partículas emitidas a la atmósfera procedentes de actividades humanas, el efecto de enfriamiento de los aerosoles en la atmósfera también se reducirá.

Según el análisis del IPCC, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> no debería superar las 400 ppm de CO<sub>2</sub> si queremos que el aumento global de la temperatura permanezca entre los 2,0 y los 2,4 °C. En la actualidad, la concentración de CO<sub>2</sub> gira en torno a las 385 ppm<sup>33</sup> y aumenta en 2 ppm anuales. La concentración en 2007 de todos los gases de efecto de invernadero, tanto de CO<sub>2</sub> como de otro

tipo, era de aproximadamente 463 ppm de CO<sub>2</sub>-equivalentes. Al ajustar esta concentración con los efectos de enfriamiento de los aerosoles, obtenemos una concentración de CO<sub>2</sub>-equivalente de 396 ppm<sup>34</sup>. Un estudio reciente<sup>35</sup> estima que una concentración de 450 ppm de CO<sub>2</sub>-equivalentes (incluido el efecto de enfriamiento de los aerosoles) nos daría un 50% de posibilidades de controlar el aumento de temperatura dentro del margen de los 2 °C.

Así pues, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> ya se encuentran en los niveles que se estima generarán un calentamiento de la Tierra de entre 2,0 y 2,4 °C (Tabla 1). Si la sociedad quiere estabilizar las concentraciones de gases de efecto de invernadero a este nivel, las emisiones globales deberían, en teoría, reducirse en un 60-80% de forma inmediata. La cantidad real dependerá de la cantidad que los océanos y el suelo puedan absorber. Puesto que una reducción inmediata tan drástica es imposible, las concentraciones de gases de efecto de invernadero seguirán aumentando a lo largo de las próximas décadas. Por tanto, será inevitable superar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto de invernadero necesarias para limitar el calentamiento de la Tierra a 2 °C. Para frenar que sobrepasemos estas concentraciones, las emisiones deben llegar a su punto álgido en un futuro próximo. Estudios recientes<sup>22,36,37</sup> indican que si el máximo en las emisiones de gases de efecto de invernadero no es alcanzado sino hasta después de 2020, las tasas de reducción de emisiones necesarias en adelante tendrán que ser superiores al 5% anual para seguir teniendo alguna oportunidad razonable de mantenernos dentro de la barrera de seguridad de los 2 °C. Se trata de un reto desalentador si se compara con el aumento anual medio a largo plazo del 2% en las emisiones (Recuadro 2). La conclusión tanto del informe del IPCC como de los análisis posteriores<sup>38</sup> es simple: es necesario que se produzcan reducciones inmediatas y drásticas de las emisiones de todos los gases de efecto de invernadero si queremos mantenernos dentro de la barrera de seguridad de los 2 °C.

Las preocupaciones económicas a corto plazo, los obstáculos políticos e institucionales y la falta de concienciación y preocupación en el público son las principales barreras que nos impiden iniciar de forma inmediata esta ambiciosa reducción de emisiones. Hay aún desacuerdo en la comunidad económica sobre si el cambio climático es sencillamente una externalidad como cualquier otra o si es algo fundamentalmente distinto a cualquier otro fenómeno al que la humanidad haya tenido que hacer frente antes<sup>38,39</sup>. También hay desacuerdo sobre cómo calcular los costos de mitigación en comparación con los costos



# Los costes de retrasar las acciones

Prof. Lord Nicholas Stern, [n.stern@lse.ac.uk](mailto:n.stern@lse.ac.uk)

## RECUADRO 8

Postponer la reducción de emisiones puede llegar a ser muy caro, esto implica:

- Más emisiones en la actualidad que generarían unos aumentos de temperatura mayores y más rápidos y, por lo tanto, unos mayores impactos y costos de adaptación.
- Encerrarnos en infraestructuras con altas emisiones de carbono y retrasar el desarrollo tecnológico "limpio".
- Más adelante sería necesario efectuar reducciones más drásticas de las emisiones.

Aumentar las emisiones a corto plazo nos condena a un mayor cambio climático, lo que implica un incremento del costo de sus impactos y la necesidad de una mayor inversión en el proceso de adaptación. Aún más, conlleva que se acelere el ritmo del cambio climático, lo que supone mayores desafíos en lo que respecta a la adaptación. Existe un mayor riesgo de cruzar los puntos de inflexión y, si así lo exigen las pruebas que se están encontrando recientemente, problemas a la hora de cambiar hacia objetivos más ambiciosos.

Las distintas trayectorias de emisión tendrán distintos impactos e implicaciones de adaptación, pero también serán diferentes los costos de mitigación. Las reducciones drásticas de emisiones significarían

la retirada prematura de reservas de capital productivo (inversiones físicas como vehículos y centrales eléctricas) y eso puede resultar extremadamente costoso. Aumentarían así los costos de las nuevas inversiones, ya sea a través del uso temprano de tecnologías en desarrollo o de la retirada prematura de tecnologías más anticuadas. Es el caso particular de sectores con un uso intensivo de capital en inversiones duraderas, como la generación de energía, en los que se espera que las instalaciones productivas tengan una vida útil de entre 40 y 50 años.

Aunque llevar a cabo el despliegue tecnológico antes de que las tecnologías en cuestión estén maduras implica asumir mayores costos, dichas tecnologías no podrán madurar sin inversiones y sin señales políticas claras. Desarrollar nuevas tecnologías reduce los costes para las futuras reducciones de emisiones. Lograr una mayor reducción de las emisiones en el futuro depende de que la innovación genere métodos con bajas emisiones de carbono que sean rentables y puedan aplicarse en sectores que actualmente serían muy caros de descarbonizar, como la aviación y la agricultura. Para un nivel determinado de emisiones, cuanto mayor sea el retraso en iniciar acciones relativamente poco costosas para reducir las emisiones, como la eficiencia energética y la deforestación, mayores serán las reducciones que se necesitarán en estos sectores de costos elevados. A pesar de que existen riesgos desde los dos puntos de vista, las evidencias que existen hoy en día indican que el costo dominante en las propuestas más actuales<sup>39</sup> es el de hacer demasiado poco.



Fotografía: John McConico

Temperature rise	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	Year of peak emissions	% change in global emissions
Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity	CO <sub>2</sub> concentration at stabilisation (2005 = 379 ppm)	CO <sub>2</sub> -eq. concentration at stabilisation including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm)	Peaking year for CO <sub>2</sub> emissions	Change in CO <sub>2</sub> emissions in 2050 (percent of 2000 emissions)
°C	ppm	ppm	year	percent
2.0 - 2.4	350 - 400	445 - 490	2000 - 2015	-85 to -50
2.4 - 2.8	400 - 440	490 - 535	2000 - 2020	-60 to -30
2.8 - 3.2	440 - 485	535 - 590	2010 - 2030	-30 to +5
3.2 - 4.0	485 - 570	590 - 710	2020 - 2060	+10 to +60
4.0 - 4.9	570 - 660	710 - 855	2050 - 2080	+25 to +85
4.9 - 6.1	660 - 790	855 - 1130	2060 - 2090	+90 to +140

**Tabla 1**  
Características de varias trayectorias de emisiones para conseguir la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto de invernadero, en CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-eq. Se indica el aumento promedio de la temperatura global en equilibrio por encima de los niveles preindustriales para cada objetivo de estabilización. Únicamente el primer escenario, que se muestra en la primera fila, tiene posibilidades de cumplir la barrera de seguridad de 2 °C. Hay que destacar que las concentraciones atmosféricas actuales de los gases de efecto de invernadero son de aproximadamente 385 ppm de CO<sub>2</sub> y 396 ppm de CO<sub>2</sub>-eq (incluyendo el efecto de enfriamiento que causan los aerosoles). Modificado a partir de<sup>1</sup> (Tabla 5.1, p. 67).



futuros de la inacción y cómo evaluar los riesgos del cambio climático. Sin embargo, un número creciente de análisis indica que los costos tanto de la adaptación al cambio climático como de su mitigación irán en aumento si se pospone la toma de acciones<sup>16</sup> (sesiones 32 y 52), (Recuadro 8). En general, los analistas económicos coinciden en que la incertidumbre acerca del alcance del cambio climático futuro no es un motivo racional para retrasar los programas destinados a frenar las emisiones. Sin embargo, los intereses y las estructuras económicas existentes pueden, en muchas ocasiones, evitar que se apliquen acciones de políticas climáticas eficaces.

A pesar de que puede que sea difícil desde el punto de vista político, un paso crítico para frenar las emisiones consiste en que las empresas y los consumidores asuman un precio adecuado por emitir gases de efecto de invernadero<sup>38,39</sup>. La fijación del precio de las emisiones puede hacerse ya sea mediante objetivos y comercio de emisiones, a través de impuestos o tarifas armonizadas sobre las emisiones, o mediante una combinación de todos esos sistemas. En todo caso, es probable que sean necesarias otras políticas y programas para gestionar otras externalidades y fallos de mercado (Recuadro 9). Si queremos alcanzar unas metas de mitigación ambiciosas, los programas de reducciones de emisiones y la fijación del precio del carbono deben llevarse a cabo tan pronto como sea posible, y dentro del marco de políticas estables. Esto enviará señales a los inversores, consumidores e innovadores acerca del entorno futuro del mercado y, por tanto, les animará a invertir y, en última instancia, reducir el costo de conseguir una meta concreta de mitigación. De forma coherente con la fijación de precios para el carbono, la adopción de políticas y reglamentos que promuevan el uso eficiente de la energía (por ejemplo, el establecimiento de normas energéticas para los electrodomésticos, las viviendas y el transporte<sup>32,48,49</sup>) y la adopción generalizada de tecnologías con bajas emisiones de carbono son también esenciales para una mitigación rápida y eficaz<sup>50</sup>.

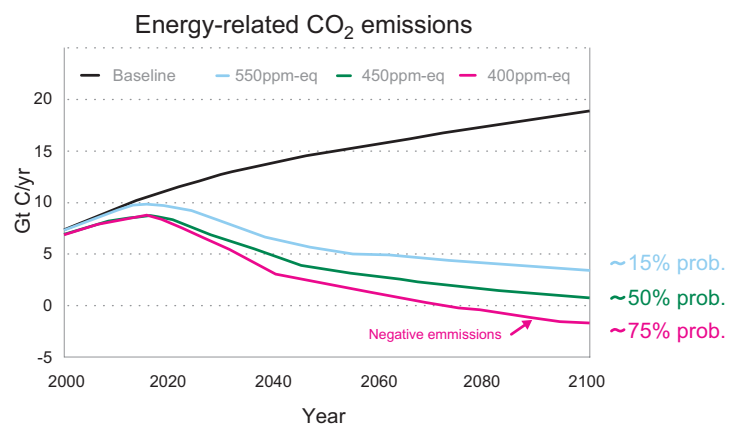
Sin la cooperación global, será prácticamente imposible conseguir una ambiciosa protección del clima. Para conseguir unas metas de mitigación ambiciosas, es esencial actuar tan rápido como sea posible para conseguir una amplia participación de todos los países en una acción de mitigación exhaustiva<sup>16,51,52,53</sup> (sesiones 32 y 52). Sin embargo, la crisis económica global actual indica que no sería sensato construir un sistema global intrincado y estrechamente conectado en el que la caída de un único elemento provocase la caída de todo el conjunto<sup>16</sup> (sesión 23). Sin embargo, es necesario disponer de un plan de acción, unos compromisos y un marco globales antes de poder crear un nivel apropiado de coordinación de medidas a todos los niveles, incluido el local, nacional y regional<sup>16</sup> (sesión 58).

Además de los obstáculos económicos y políticos para reducir las concentraciones de gases de efecto de invernadero, las limitantes técnicas también son importantes. Para estabilizar las concentraciones atmosféricas a cualquier nivel, será necesario reducir las emisiones a niveles prácticamente nulos a largo plazo<sup>54</sup>. Algunas de las vías previstas que constituyen una oportunidad razonable de mantenernos dentro de la barrera de seguridad de los 2 °C (Figura 9) indican que la sociedad global podría necesitar desarrollar su capacidad para eliminar el carbono de la

atmósfera<sup>55</sup>. Aunque se están desarrollando algunas tecnologías prometedoras, como la captura y el almacenamiento de dióxido de carbono (CAC)<sup>56</sup>, aún queda camino por delante hasta que puedan ser desplegadas comercialmente y a gran escala<sup>16</sup> (sesión 17).

Dada la enormidad del desafío que plantea la mitigación, se está prestando cada vez más atención a las carteras agresivas de mitigación y a su puesta en práctica. Los análisis oscilan desde el potencial de las medidas de eficiencia energética<sup>16</sup> (sesión 20) y de innovación técnica en sistemas de energías renovables<sup>57</sup> hasta evaluaciones integradas de la viabilidad técnica y económica de las vías de emisión para estabilizar las concentraciones de gases de efecto de invernadero a 400, 450 y 550 ppm de CO<sub>2</sub>-equivalentes, respectivamente (Figura 9). Se calcula que el objetivo de las 400 ppm de CO<sub>2</sub>-equivalentes, que es prácticamente igual a las concentraciones actuales, nos dará un 75% de oportunidades para mantener el calentamiento de la Tierra a niveles inferiores a los 2 °C<sup>22,35</sup>. Los modelos elaborados sobre energía-medio ambiente-economía indican que una vía de ese tipo, con tan bajas emisiones de carbono, es factible a costos moderados si se desarrollan y despliegan todas las tecnologías, incluido el uso de la biomasa a gran escala y las opciones para capturar y almacenar CO<sub>2</sub><sup>16</sup> (sesión 27),<sup>60</sup>.

Otros argumentan que el desafío de la mitigación podría ser mucho mayor de lo que se prevé actualmente y que las estrategias de innovación necesarias podrían encontrarse con barreras técnicas, sociales y ecológicas. Esta línea de argumentación apunta hacia la ingeniería geológica, en la que los seres humanos manipulan deliberadamente los procesos climáticos a escala global para conseguir el enfriamiento planetario, además de las estrategias de mitigación<sup>61</sup>. Sin embargo, todavía no se ha demostrado la aceptación social de los enfoques de la ingeniería geológica<sup>62</sup>.



**Figura 9**  
Trayectorias de las emisiones relacionadas con la energía desde 2000 hasta 2100 para conseguir la estabilización de los gases de efecto de invernadero en la atmósfera en tres objetivos distintos (líneas coloreadas). La línea negra es la trayectoria de referencia basada en la ausencia de política climática. Se muestran las probabilidades (medias) estimadas de frenar el calentamiento de la Tierra hasta un máximo de 2 °C para tres objetivos de estabilización<sup>35,58,63</sup>.



## Herramientas económicas para afrontar el reto de la mitigación

### RECUADRO 9

Dr. Frank Jotzo, [frank.jotzo@anu.edu.au](mailto:frank.jotzo@anu.edu.au)

La fijación de los precios de las emisiones es la principal herramienta económica para controlar las emisiones de gases de efecto de invernadero. Los dos instrumentos principales para fijar los precios son los impuestos sobre las emisiones de carbono (que fijan su precio) y el comercio de los derechos de emisión (que establece la cantidad permitida, el sistema 'cap and trade'), un marco en el que también son posibles los programas híbridos. La mayoría de los programas planificados y puestos en práctica utilizan el comercio de emisiones, en ocasiones con elementos de control de precios. Los impuestos y el comercio se comportan de maneras distintas en condiciones de incertidumbre. Actualmente los economistas siguen debatiendo qué enfoque es preferible, aunque el principio básico es el mismo: se aplica una penalización económica sobre las emisiones de gases de efecto de invernadero y esta misma se transmite a través de los mercados. Esto genera un incentivo para recortar las emisiones. Las empresas y los consumidores optan por procesos o productos con emisiones más bajas porque así ahorran dinero. La respuesta global es rentable porque se utilizan en primer lugar las opciones de costos más bajos.

Los subsidios a las tecnologías con bajas emisiones de carbono son otra herramienta esencial para controlar las externalidades y los fallos de mercado que puedan persistir tras fijar el precio de las

emisiones. Algunos ejemplos de esto son los fenómenos de difusión del conocimiento en investigación y desarrollo (I+D), las limitaciones del crédito para la inversión, y los incentivos desalineados para los usuarios finales. En muchos países, los paquetes de estímulos fiscales para contrarrestar los efectos de la recesión derivados de la crisis económica global incluyen inversiones públicas en tecnologías e infraestructuras con bajas emisiones de carbono. Los enfoques normativos específicos de cada sector también forman parte de las herramientas económicas para el cambio climático; por ejemplo, exigir que las empresas de servicios públicos compren un porcentaje mínimo de electricidad suministrada por fuentes de energías renovables. Dicha reglamentación puede también incluir mecanismos de mercado, como el comercio de cuotas renovables entre distintas empresas de servicios públicos.

Las consideraciones básicas para escoger y diseñar políticas económicas en materia de mitigación de los gases de efecto de invernadero son su rentabilidad y sostenibilidad política. La clave radica en crear unas señales de precios estables y expectativas a largo plazo de aumentar los precios del carbono, con objeto de respaldar inversiones de larga duración en medidas de mitigación; asimismo, hay que aplicar las políticas en todos los sectores y países para maximizar los incentivos de reducción de las emisiones y minimizar los costos económicos acumulados.



## MENSAJE CLAVE 4

# DIMENSIONES DE EQUIDAD

El cambio climático está teniendo, y tendrá, efectos diferenciales muy intensos sobre las personas dentro de los distintos países y regiones, entre esta generación y las generaciones futuras y, sobre las sociedades humanas y el mundo natural. Es necesario disponer de una red de seguridad para la adaptación bien financiada, eficaz y destinada a aquellas personas que tengan menos capacidad de hacer frente a los impactos del cambio climático. También es importante tener estrategias de mitigación equitativas para proteger a los pobres y más vulnerables. Hacer frente al cambio climático debe considerarse una parte integral de las metas para incrementar el desarrollo socioeconómico y la equidad en todo el mundo.

Las consideraciones relativas a la equidad son destacadas en los orígenes y las consecuencias del cambio climático, y son especialmente importantes en el desarrollo de soluciones para el cambio climático. El clima no está cambiando de manera uniforme en todo el mundo. Las temperaturas están aumentando con más rapidez en las zonas situadas cerca de los polos que en el ecuador, las precipitaciones están cambiando de formas complejas, de manera que algunas regiones están pasando a ser más húmedas mientras que otras se están secando. Los acontecimientos extremos son cada vez más frecuentes en algunos lugares, en comparación con otros. Las desigualdades son también muy marcadas en cuanto a las dimensiones humanas del cambio climático. En general, los países desarrollados han tenido hasta ahora una responsabilidad mayor por el cambio climático, mientras que los países en desarrollo son quienes han sufrido la mayoría de sus impactos. Por ejemplo, los impactos del cambio climático sobre la salud son profundamente desiguales; las personas pobres, marginadas, sin educación y geográficamente vulnerables son las que corren un riesgo mayor de resultar heridas o de morir<sup>16</sup> (sesión 14). En general, los pobres son quienes tienen menos capacidad para adaptarse al cambio climático. Cualquier solución duradera y ampliamente aceptada para el cambio climático debería reconocer y tener en cuenta dichas dimensiones de equidad en las negociaciones y los acuerdos que se alcancen.

La vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático varía mucho de unas zonas del mundo a otras. Los problemas éticos y de justicia se están revelando como factores clave en los enfoques de adaptación. Los debates sobre las desigualdades en torno a la adaptación generalmente implican la interacción de la adaptación con la pobreza nacional, los desequilibrios regionales en la capacidad adaptativa, la adaptación en el contexto de las historias coloniales, la responsabilidad para financiar la adaptación y las cuestiones éticas relacionadas con imponer la carga de la adaptación a un mundo ya de por sí desigual<sup>16</sup> (sesiones 10 y 11). Se ha propuesto una serie de modelos para resolver estos problemas de equidad, a menudo orientados en torno al concepto de una red de seguridad de adaptación bien financiada para los más vulnerables (Recuadro 10).

Los análisis globales de zonas sensibles en cuanto a escasez de agua y vulnerabilidad de la agricultura y los sistemas alimentarios pueden identificar quiénes son las personas y cuáles son los lugares más vulnerables ante la escasez alimentaria (Figura 10), lo que contribuiría a poder centrar los recursos y los conocimientos para reducir dichas vulnerabilidades. Hasta la fecha, ha habido sorprendentemente poca investigación que se centre específicamente en mantener o aumentar la productividad de los sistemas alimentarios en un clima cambiante o en la vulnerabilidad ante el cambio climático de otros aspectos de los sistemas alimentarios, como las redes de distribución y la calidad de los alimentos.

Esta falta de investigación orientada es un problema frecuente en muchas regiones en desarrollo del mundo, en las que las presiones por la supervivencia a corto plazo dominan frente a la adaptación a largo plazo al cambio climático. Sin embargo, a medida que los impactos del cambio climático vayan cobrando una mayor importancia, será necesario destinar recursos adicionales tanto para la investigación como para la acción destinada a reducir la vulnerabilidad de las partes del mundo más pobres en alimentos<sup>64,65</sup>.

Los problemas de equidad tienen dimensiones temporales y espaciales. Se ha debatido mucho en torno a las obligaciones de la generación actual para con las generaciones futuras y, aunque existe un activo debate abierto en torno a muchos aspectos de la equidad intergeneracional, han salido a la luz ciertas áreas de acuerdo. En primer lugar, los enfoques económicos estándar, que emplean análisis de costo-beneficio y descuentos estándar, no pueden reflejar la diversidad de perspectivas sobre las obligaciones que tenemos frente a las generaciones futuras. En segundo lugar, hay muchas perspectivas filosóficas distintas que llevan a la misma conclusión: mantener un enfoque de negocios tradicional frente al cambio climático es injusto para las futuras generaciones, que tienen el derecho fundamental a disponer de un medio ambiente en el que poder vivir. En resumen, la generación actual está gestionando el capital natural de la Tierra de tal manera que dejará una importante deuda medioambiental a las generaciones futuras, que estas deberán resarcir<sup>16</sup> (sesión 12).

La actual catástrofe que padece la biodiversidad no solo genera preocupación sobre los servicios que los ecosistemas prestan a los seres humanos<sup>26</sup>, sino también problemas éticos sobre las relaciones entre la humanidad y el resto de la naturaleza. Aunque la sociedad contemporánea suele ver el mundo natural como una vasta fuente de recursos para su explotación, sus valores recreativos y espirituales siguen siendo importantes para muchas personas. Así pues, la posible extinción de especies carismáticas, como el pingüino emperador, o de ecosistemas icónicos, como los arrecifes de coral o las selvas tropicales, a consecuencia del cambio climático es algo que mucha gente considera inaceptable. Las perspectivas éticas biocéntricas y ecocéntricas confieren una condición moral a las plantas, los animales y los ecosistemas y, por tanto, las extinciones de especies provocadas por el cambio climático son vistas como una injusticia cuando se considera la equidad entre la humanidad y el resto de la naturaleza<sup>16</sup> (sesión 13).

Los problemas de equidad también son notables en la mitigación del cambio climático y figuran invariablemente en los debates sobre las responsabilidades diferenciales para las reducciones de emisiones en los distintos países. La base científica del dilema de la equidad en relación con la mitigación es lo que se denomina el 'problema de stocks y flujos'<sup>18</sup>. El clima responde a la cantidad

# Financiación para la adaptación

Prof. J. Timmons Roberts, [jtrobe@wm.edu](mailto:jtrobe@wm.edu) y Prof. Coleen Vogel, [Coleen.Vogel@wits.ac.za](mailto:Coleen.Vogel@wits.ac.za)

## RECUADRO 10

Los más pobres del mundo son generalmente los más vulnerables ante los impactos del cambio climático y los que menos responsabilidad tienen de haberlos ocasionado. Tanto la CMNUCC como el Protocolo de Kioto han declarado que las naciones que tengan la "capacidad" necesaria para hacer frente al cambio climático y gestionarlo deberían financiar de manera significativa a aquellas que no puedan hacerlo. Manifestarse de acuerdo con ese principio fue fácil; no obstante, se necesita un pacto global para abordar una serie de cuestiones esenciales. ¿Cuántos fondos son necesarios para la adaptación y cómo podemos saber y estimar dichos costos, tanto en el corto como en el largo plazo? ¿Quién debería pagar la adaptación y cuánto debería pagar cada país? ¿De qué manera se pueden recaudar los pagos adecuados de forma fiable y justa? ¿De qué manera se pueden distribuir de forma justa los fondos internacionales para la adaptación y garantizar su uso eficiente?

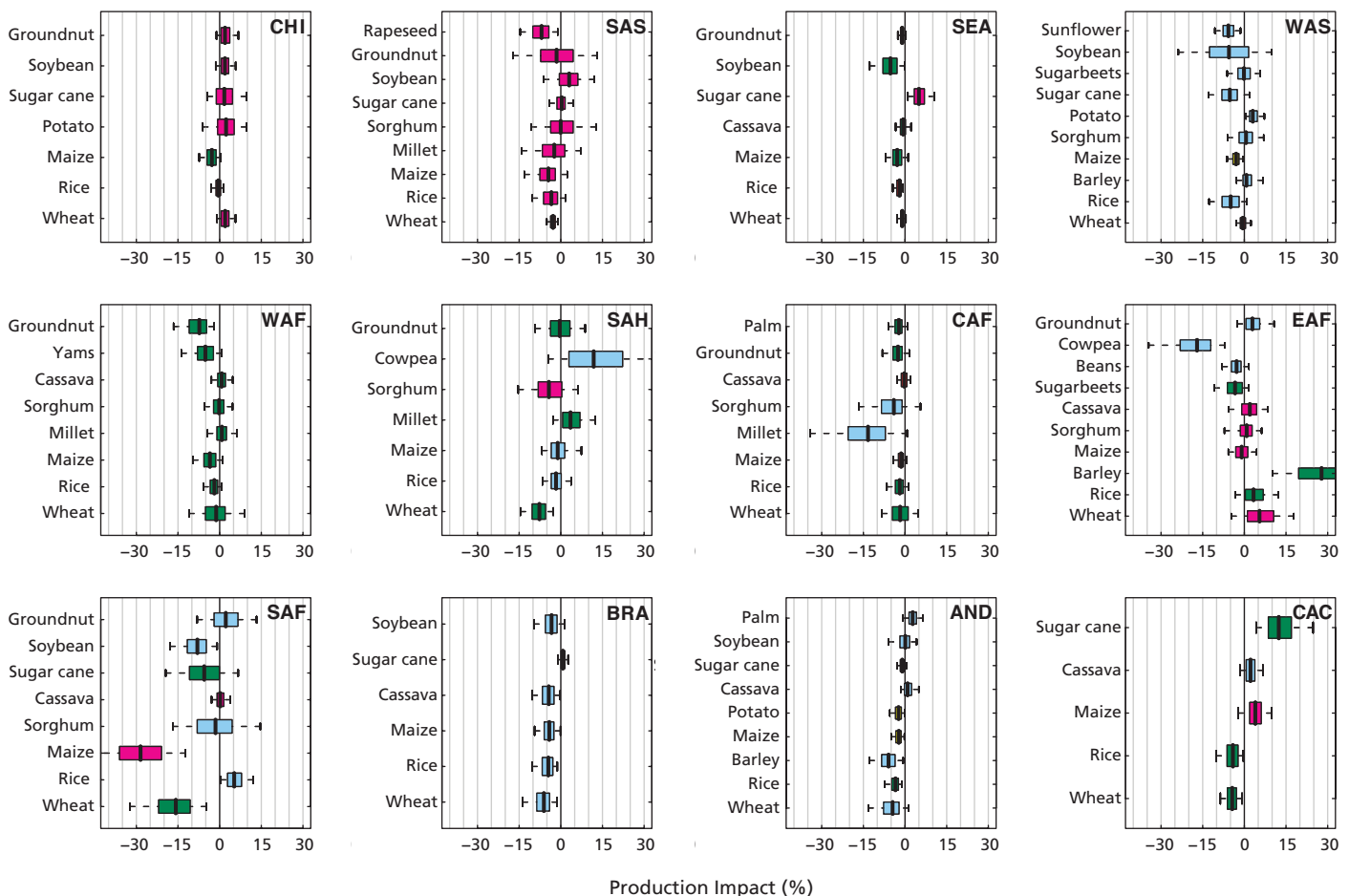
En la actualidad, las estimaciones sobre la cantidad de dinero necesaria para que los países en vías de desarrollo se adapten a los posibles impactos del cambio climático oscilan entre los 8.000 y los 100.000 millones de dólares anuales, aunque es obvio que desde ahora mismo hará falta movilizar decenas de miles de millones de dólares cada año. Los fondos de contribuciones voluntarias actuales son extremadamente inadecuados. Como sucede con muchas catástrofes nunca se consiguen reparar o reembolsar muchos de los impactos y pérdidas que ocasionan, a pesar de los notables esfuerzos realizados. No obstante, el principio de 'quien contamina paga' propone que aquellos que crean la necesidad de adaptación deben cubrir sus costos. Es esencial que esos pagos se consideren un resarcimiento obligatorio por los daños causados, en lugar de fondos opcionales o de una limosna.

La CMNUCC especifica que la acción sobre el cambio climático debería basarse en la responsabilidad y la capacidad. Los enfoques más prometedores utilizan los ingresos generados en las naciones más ricas procedentes de las medidas aplicadas para reducir sus emisiones (como los impuestos sobre las emisiones de carbono o las subastas de permisos) para satisfacer las necesidades de adaptación de los países más pobres. Los gravámenes internacionales sobre el comercio de carbono o el transporte presentan ciertas ventajas en comparación con los fondos recaudados a través de impuestos nacionales.



Fotografía: John McConico

Estos últimos corren el riesgo de ser captados por los políticos nacionales bajo presión por resolver otras prioridades locales. Por último, debe prestarse mucha atención para garantizar que los fondos de adaptación se distribuyan de forma justa y eficaz: será necesario recurrir a procesos participativos, garantizar la transparencia en la entrega y llevar a cabo una evaluación independiente de su uso para poder mantener una amplia confianza.



**Figura 10**  
Impactos proyectados del cambio climático sobre la producción agrícola en 2030, expresados como un cambio porcentual en relación con el rendimiento medio de 1998-2002. El rosa, el verde y el azul indican una "clasificación de importancia de las hambrunas", de 1 a 30 (mayor importancia), de 31 a 60, y de 61 a 94 (menor importancia), respectivamente. Las líneas discontinuas van desde las proyecciones del percentil 5 al 95, los recuadros van desde el percentil 25 al 75 y la línea media vertical dentro de cada

recuadro indica la proyección media. Los códigos de las regiones son los siguientes: CHI – China; ASM – Asia Meridional; SEA – Sureste asiático; ASO – Asia Occidental; AFO – África Occidental; SAH Sahel; AFR – África Central; AFO – África Oriental; AFM – África Meridional; BRA – Brasil; AND – Región Andina; ACC – América Central y el Caribe<sup>64</sup>.



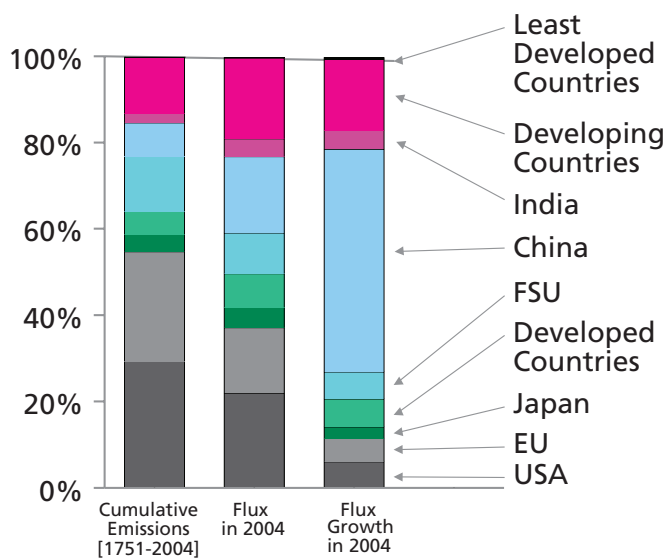
de gases de efecto de invernadero que se hallan en la atmósfera (los stocks). A causa de la larga vida del CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto de invernadero en la atmósfera, los stocks están dominados por las emisiones históricas de los países desarrollados. Así pues, el nivel del cambio climático que se experimenta en 2009 está provocado, en buena medida, por las emisiones históricas de los países ricos (Figura 11). Sin embargo, los orígenes de las emisiones a la atmósfera de gases de efecto de invernadero provocadas por los seres humanos están cambiando rápidamente. La tasa de aumento de las emisiones está actualmente dominada por los países en vías de desarrollo, y las grandes economías asiáticas. Esas economías se han convertido, en concreto, en notables emisores de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en términos de flujos anuales. Sin embargo, si se calculan las emisiones per cápita, los países desarrollados siguen dominando las emisiones y continuarán haciéndolo en un futuro previsible.

En el año 2050 viviremos en el mundo 9.000 millones de personas, y para satisfacer los objetivos de reducción de emisiones y evitar un peligroso cambio climático (Mensaje Clave 2), las emisiones per cápita deberán girar en torno a las 2 toneladas de dióxido de carbono por año, como máximo. Como se ha observado, las emisiones per cápita en la actualidad varían mucho de un país a otro: por ejemplo, en EE.UU. están en torno a las 20 toneladas, en los países nórdicos son de unas 11 toneladas y en China están por debajo de las 4 toneladas<sup>66</sup>. Convertir la media per cápita exigida en un derecho vinculante de emisiones por persona en todo el mundo es algo muy complejo, que implica cuestiones de responsabilidad histórica (Figura 11), así como el tiempo necesario para eliminar las diferencias actuales entre los distintos países.

Los enfoques de mitigación en un contexto nacional también están rodeados de desafíos relacionados con la equidad. Invariablemente se cruzan con desigualdades estructurales de formas complejas, a menudo en desventaja de los grupos de población más débiles desde el punto de vista económico y político. Las políticas energéticas para limitar las emisiones deben ser sensibles a las pautas específicas de consumo de energía que varían entre los distintos hogares y personas en función de sus ingresos, de si se trata de emplazamientos urbanos

o rurales, del sexo y de la edad. Para hacer frente a estos cambios es necesario contar con más participación y consideración de todos los grupos sociales en el diseño y la ejecución de las políticas<sup>16</sup> (sesión 10).

El desarrollo, el despliegue y la difusión de tecnologías con bajas o nulas emisiones de carbono son aspectos críticos de los esfuerzos de mitigación, que también se relacionan estrechamente con los problemas de equidad, especialmente en la interacción entre los países desarrollados y aquellos en vías de desarrollo. Suele decirse que la introducción de una combinación de distintas fuentes energéticas de combustibles no fósiles para reducir las emisiones hace que la mitigación de la pobreza sea más lenta en el mundo en desarrollo, puesto que exige una fuerte inversión<sup>16</sup> (sesión 21), aunque puede tener el efecto contrario cuando se diseña y se aplica convenientemente. Algunos de los principios clave durante la introducción de fuentes energéticas de combustibles no fósiles son: (i) planificar explícitamente la extensión y la difusión a los países en vías de desarrollo cuando los proyectos de demostración se realicen en un país desarrollado; (ii) diseñar los



**Figura 11**  
Aspectos diversos de las emisiones humanas de carbono por país/región, en los que se destaca el llamado 'problema de stocks y flujos'. La primera columna muestra las emisiones acumuladas desde el principio de la revolución industrial hasta el año 2004. Son estos depósitos de carbono en la atmósfera los que están impulsando en buena medida el cambio climático observado. La segunda columna muestra el caudal de emisiones de carbono producidas por el ser humano en la atmósfera en 2004. La tercera columna representa la tasa anual de crecimiento de los flujos de carbono en la atmósfera en 2004.<sup>18</sup> AUS hace referencia a la antigua Unión Soviética.



**Figura 12**  
Células fotovoltaicas a pequeña escala (sistema medio – 18 vatios), como se utilizan en Kenia. La tasa de aceptación de esta tecnología es superior en Kenia que en cualquier otro país del mundo<sup>57</sup>.

beneficios compartidos para otros aspectos del desarrollo socioeconómico e incluir incentivos explícitos para respaldar los sistemas energéticos con bajas emisiones de carbono, y (iii) las tecnologías no tienen por qué ser las más avanzadas y caras para ser eficaces en los países en desarrollo<sup>16</sup> (sesiones 21 y 27). Un ejemplo del último principio es la rápida difusión en Kenia de la tecnología de células solares de bajo mantenimiento y bajo costo<sup>57</sup> (Figura 12).

Utilizar sistemas biológicos para almacenar carbono y reducir las emisiones es un posible enfoque de mitigación que implica unas consideraciones de equidad complejas y polémicas. Los cambios en la cobertura de suelo de las selvas son

responsables de cerca del 15% de las emisiones globales de gases de efecto de invernadero causadas por los seres humanos<sup>1</sup>. Los enfoques para reducir emisiones procedentes de la deforestación y la degradación forestal están ganando cada vez más respaldo como una estrategia de mitigación potencialmente eficaz y eficiente (Mensaje Clave 5), pero siguen pendientes los retos para garantizar que dichas estrategias sean equitativas, especialmente la necesidad de proteger los derechos y la subsistencia de las poblaciones dependientes de las selvas. Para conseguir una amplia aceptación, dichos proyectos deberían evitar los errores en esfuerzos previos para tratar de controlar la deforestación y aprovechar sus éxitos. Ello requiere modificar de fondo las causas principales de la deforestación por medio de las herramientas políticas. A menudo, esas causas pertenecen a distintos sectores y están fuera de la silvicultura tradicional. Además, la protección de las selvas debe dar cabida a distintas situaciones locales, tanto en la economía política como en la ecología<sup>16</sup> (sesión 25).

Existen otros enfoques de mitigación de origen biológico, como el desarrollo y la utilización de biocombustibles. Sin embargo, estos también implican

consideraciones de equidad. El repunte de los precios de los alimentos en 2008, que se debió, al menos en parte, a la competencia con los biocombustibles por el suelo, puso de manifiesto el conflicto potencial impulsado por la demanda de los países ricos para obtener combustibles líquidos y la necesidad de los pobres en los países en desarrollo de garantizar su seguridad alimentaria. Los sistemas de biocombustibles de segunda generación están diseñados para eliminar este conflicto potencial mediante el uso de materias primas no alimentarias y el uso de suelo no apto para la producción de alimentos<sup>16</sup> (sesión 18).

Los problemas de equidad dominan prácticamente todos los aspectos del desafío del cambio climático. Los intentos por separar o compartimentalizar la reducción de emisiones y las actividades de adaptación de las metas más amplias de desarrollo socioeconómico en muchas zonas del mundo están condenados al fracaso. Los retos comunes del siglo XXI (evitar un cambio climático peligroso y el alivio de la pobreza) pueden y deberían tratarse de forma conjunta<sup>67,68</sup>.



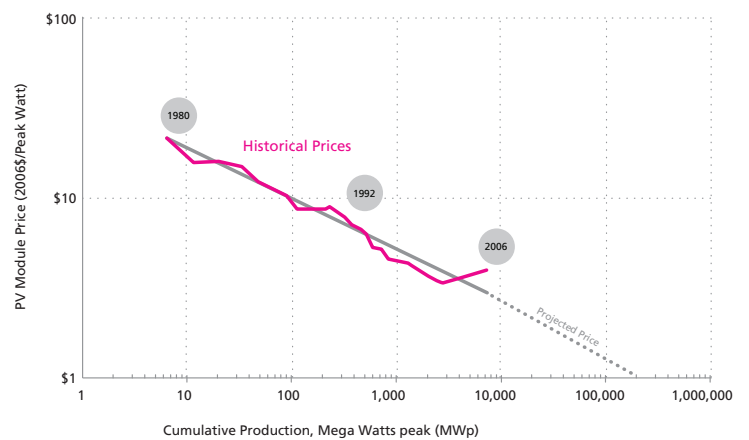
## MENSAJE CLAVE 5

# LA INACCIÓN ES INEXCUSABLE

La sociedad ya dispone de muchas herramientas y enfoques distintos (económicos, tecnológicos, conductuales y de gestión) para hacer frente de forma eficaz al desafío del cambio climático. Si esas herramientas no se ponen en práctica amplia y enérgicamente, no se alcanzará la adaptación al inevitable cambio climático y la transformación social necesaria para descarbonizar las economías. Una amplia gama de ventajas se obtendrá del esfuerzo concertado para conseguir una adaptación y mitigación rápidas y eficaces. Por ejemplo, el aumento del empleo en el sector de las energías sostenibles; reducciones en los costos sanitarios, sociales, económicos y medioambientales del cambio climático; y la reparación de los ecosistemas y la revitalización de sus servicios.

Cualquier respuesta social al cambio climático provocado por el ser humano debería ser una combinación de **mitigación**, por la cual se adopten medidas activas para reducir o cambiar las actividades humanas que están ocasionando el cambio climático, y **adaptación**, mediante la cual la sociedad incrementa su capacidad para hacer frente a los impactos del cambio climático, en la medida de lo posible. La mitigación y la adaptación están estrechamente relacionadas como estrategias de respuesta. La adaptación es esencial, puesto que incluso si hoy se iniciase un enorme esfuerzo de mitigación, no seríamos capaces de eliminar los impactos del cambio climático que ya se están manifestando y aquellos con los que la sociedad está comprometida en el futuro debido a la inercia del clima. En el otro extremo, si no iniciamos ningún esfuerzo mitigador y permitimos que el cambio climático provocado por el ser humano continúe inalterable, el riesgo de que se produzcan impactos catastróficos o altamente peligrosos asociados con un calentamiento de la Tierra de varios grados es muy grande (Mensaje Clave 2). Probablemente ni siquiera las sociedades más ricas, con las mejores actividades de adaptación sin problemas de recursos, serían capaces de adaptarse por completo a dichos niveles de cambio climático. Esta simple realidad subraya el hecho de que las políticas climáticas eficaces deben combinar tanto medidas de adaptación como actividades de mitigación.

No podrá haber una reducción de las emisiones de gases de efecto de invernadero provocadas por el ser humano hasta los niveles necesarios como para mantenerse dentro de la barrera de seguridad de 2 °C, salvo que se pueda llegar a satisfacer un porcentaje mucho mayor de las demandas sociales de energía mediante fuentes de combustibles no fósiles. Al hecho de desarrollar una economía menos dependiente de los combustibles fósiles se le conoce como "descarbonizar la economía". En los últimos años se han estado desarrollando muchas tecnologías de energías renovables que pueden contribuir a descarbonizar la economía global (Recuadro 11). Aunque no existe ninguna "solución milagrosa" (ninguna tecnología renovable por sí sola puede sustituir por completo a los combustibles fósiles), una combinación de distintas tecnologías podría hacer que varios países y regiones desarrollaran sus propias combinaciones de energías renovables para satisfacer sus propias necesidades. En la actualidad ya existen tecnologías que, en combinación con cambios en la vertiente de la demanda (un uso reducido de la energía y una mejora de la eficiencia energética), ofrecen el potencial necesario para conseguir una reducción de las emisiones de gases de efecto de invernadero del 50% para el año 2050 y, en algunas regiones, reducir las emisiones hasta prácticamente cero en esas fechas<sup>16</sup> (sesión 19). Sin embargo, para alcanzar esas metas es necesario que se produzca un incremento sustancial y rápido de la



**Figura 13**  
Existe una caída en el precio del módulo de células solares fotovoltaicas (FV) de lámina delgada a medida que aumenta la producción acumulada. Esto produce un proceso de retroalimentación que demuestra que, en breve, una inversión significativa en tecnologías renovables aumentará su grado de aceptación, reduciendo aún más los costos unitarios<sup>69</sup>. La línea continua muestra los datos históricos, mientras que la línea discontinua representa la trayectoria prevista basada en las tendencias históricas.

capacidad de producción mediante inversiones concertadas; un marco político estable; e investigación, desarrollo y sesiones demostrativas que faciliten el aprendizaje de la tecnología y reduzcan los costos de producción (Figura 13).

Para integrar grandes fracciones de energías renovables sería necesario disponer de "redes inteligentes", en las que interactúen distintos elementos del sistema energético, incluida la producción, la flexibilidad de la demanda, el almacenamiento y la conversión energética, con el objetivo de ofrecer un sistema energético eficiente y estable. El desarrollo de "súper redes" (sistemas de suministro energético regionales que proporcionan energía a grandes áreas geográficas) puede ser también necesario para facilitar la integración de las tecnologías de energía eólica, solar y otras fuentes renovables, junto con instalaciones de almacenamiento de energía a gran escala, como instalaciones hidroeléctricas. Dichas redes pueden contribuir a equilibrar las cargas y moderar las fluctuaciones en la producción<sup>16</sup> (sesión 19).

En ciertos casos, las tecnologías renovables pueden de hecho satisfacer con mayor inmediatez los requisitos de los países en vías desarrollo que los sistemas



energéticos más tradicionales, basados en combustibles fósiles. Esto se debe a que pueden funcionar en áreas remotas a escalas más pequeñas y pueden necesitar menos mantenimiento y capacidad técnica local (Mensaje Clave 4). Algunas tecnologías, como las primeras tecnologías solares, que pueden no resultar apropiadas para la generación de energía en países que ya cuentan con un sistema de distribución energética moderno y fiable, pueden sin embargo resultar adecuadas para generar energía en comunidades en desarrollo que no tienen acceso a sistemas eléctricos fiables. Dicho de otro modo, cuando las consideraciones climáticas se integran en las actividades de desarrollo, es posible que exista mucha sinergia entre las metas de mitigación del cambio climático y las de desarrollo.

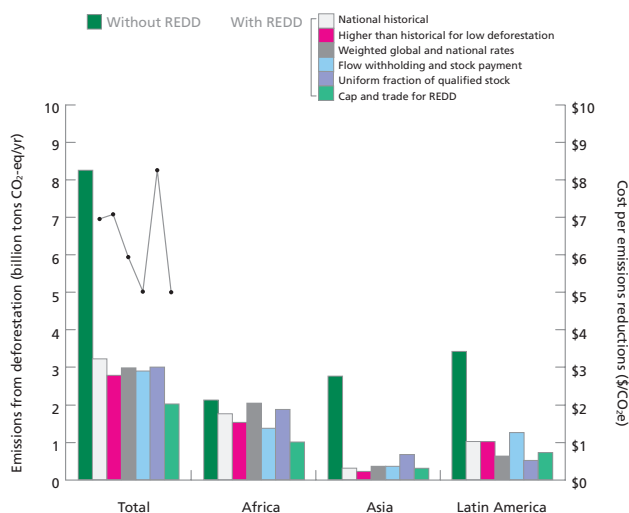
Además del desarrollo de tecnologías de energías renovables, la gestión de sistemas biológicos tiene un potencial considerable como herramienta para la mitigación. Los bosques, por ejemplo, pueden eliminar cantidades notables de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, puesto que los árboles (como todas las plantas) capturan CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis y lo convierten en biomasa. Puesto que las comunidades de plantas formadas por muchas especies generalmente absorben más carbono de la atmósfera que las comunidades constituidas por una única especie<sup>70</sup>, la preservación de la biodiversidad natural de las selvas ha pasado a tener una importancia evidente como herramienta de mitigación a través de la iniciativa REDD (Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal)<sup>16</sup> (sesión 25), (Figura 14). Su objetivo es reducir de manera significativa las emisiones de gases de efecto de invernadero asociadas con la conversión de las selvas naturales en suelo destinado a otros usos.

A pesar de que la iniciativa REDD es muy atractiva, también presenta enormes desafíos: ¿cómo podemos establecer los niveles iniciales de referencia a partir de los cuales puedan medirse los aumentos o disminuciones de la deforestación? ¿Cuáles son las condiciones y los mecanismos (económicos o de otro tipo) que respaldan mejor la iniciativa REDD? ¿Cómo puede compensarse justamente a las poblaciones locales por dedicar "su" suelo y sus valores de carbono a un propósito global (Mensaje Clave 4)? Además, si la temperatura aumenta en 2 °C o más, existe el riesgo de que los ecosistemas terrestres, incluidas las selvas, se conviertan en una fuente neta de carbono a la atmósfera, a causa de los

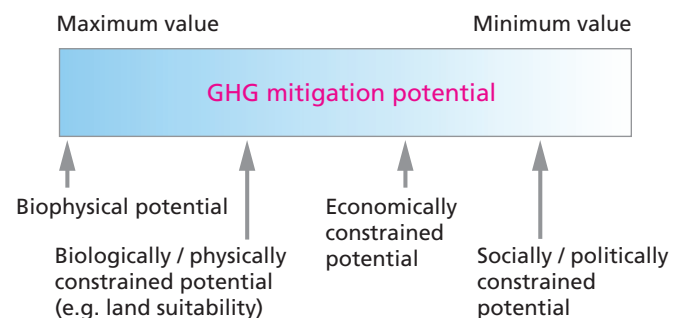
aumentos en la respiración y en perturbaciones como los incendios. La pérdida de las funciones de regulación del carbono realizadas por las selvas podría acelerar de forma muy grave el cambio climático<sup>16</sup> (sesión 38), (Recuadro 2).

La agricultura es, de todos los usos que le da el ser humano al suelo, el más extendido y esencialmente importante, pero también es un emisor significativo de gases de efecto de invernadero a la atmósfera. Por otro lado, se pueden hacer reducciones de gases de efecto de invernadero muy notables y rentables en la agricultura moderna, principalmente mediante la modificación de las prácticas de gestión. El incremento de la acumulación de carbono en el suelo tiene, en concreto, un gran potencial de reducción de emisiones a corto plazo, a la vez que aumenta a largo plazo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, es poco probable que se alcance este potencial de mitigación salvo que se fije un precio realista para las emisiones de gases de efecto de invernadero. También existen otras barreras (estructurales, institucionales, económicas y educativas) para modificar las prácticas de gestión agrícola y conseguir que sean más respetuosas con el medio ambiente<sup>16</sup> (sesión 24), (Figura 15).

Quizás, de todas las herramientas de mitigación con una base biológica, la más polémica sea los biocombustibles, que se producen a partir de las biomásas vegetales y pueden, a través de un proceso de combustión, generar calor y energía, de forma que pueden reemplazar a los combustibles fósiles (Tabla 2). En última instancia, es necesario que haya un sector de transportes menos dependiente de los combustibles líquidos de origen fósil. A corto plazo, los biocombustibles son importantes para reducir el uso de combustibles fósiles en los automóviles; a más largo plazo es probable que lleguen a reemplazar a los combustibles fósiles de los aviones y los buques<sup>16</sup> (sesión 18). El factor limitante es la cantidad de suelo que puede dedicarse a la producción de biocombustibles. Por tanto, en la actualidad se están dedicando muchos esfuerzos al desarrollo de sistemas de biocombustibles de segunda generación que estén basados en material de "desecho" de origen vegetal y no en plantas cultivadas únicamente para la producción de energía. Sobre la base de este razonamiento, así como según una comparación de la energía total necesaria para la producción, comparada con el rendimiento total de la energía, el uso de cultivos oleaginosos (aceite de palma, colza, girasol y soja) no es sostenible y, por tanto, debería evitarse<sup>16</sup> (sesión 18).



**Figura 14** Modelos de emisiones por la deforestación con siete opciones de diseño REDD, por región. Las distintas opciones de diseño están basadas en enfoques variables para definir el nivel inicial de referencia a partir del cual se medirá la deforestación adicional, la naturaleza de los mecanismos económicos, las medidas para controlar las "fugas" internas de deforestación a países con tasas históricamente bajas de deforestación, y otros factores<sup>16</sup> (sesión 25). Los resultados del análisis muestran que, con independencia de los detalles de cada diseño concreto, el enfoque REDD puede reducir las emisiones procedentes de la deforestación a menos de la mitad. Los resultados varían mucho de una región a otra, y Asia y Latinoamérica muestran grandes reducciones de las emisiones a través del sistema REDD, mientras que los aumentos son muy bajos en África. En consecuencia, los resultados son mucho más sensibles a las diferencias regionales que a la naturaleza del diseño REDD<sup>71</sup>.



**Figura 15** Impactos de diferentes limitaciones para reducir el potencial de mitigación de los gases de efecto de invernadero desde su máximo biofísico teórico hasta el potencial alcanzable más bajo<sup>72</sup>. Las limitaciones ecológicas, como restricciones de nutrientes o de agua, pueden reducir de forma significativa el potencial biológico teórico para la absorción de carbono en los sistemas de producción. Existen consideraciones económicas, sociales y políticas que pueden suponer más limitaciones, lo que implica un nivel materializado de absorción de carbono que es bastante inferior al máximo teórico.



Technology	Feedstocks	Process technology	Potential competition with food production	Conversion efficiency	Level of feed by-products
1 <sup>st</sup> generation bioethanol	Cereals, sugar cane, tubers	Fermentation	Low to high	30-65%	High
2 <sup>nd</sup> generation bioethanol	Residues, waste, bioenergy crops	Fermentation	Low	30-75%	Low to high
Biogas (methane)	Manure, energy crops, organic waste	Mesophilic fermentation	Low to high	60-80%	None
Biodiesel	Oil crops, food & animal waste	Extraction & transesterification	Low to high	85%	Low to high
Biomass to Liquid (diesel)	Any biomass, preferably wood	Thermochemical	Low	50-60%	None
Biomass for heat and power	Any biomass, preferably waste and residues	Thermochemical	Low	50-65%	None
3 <sup>rd</sup> generation biofuels	Algae, halophytes, waste and residues	Thermochemical, biological, extraction	None	< 65%	Unknown

**Tabla 2**  
Comparación de las tecnologías de conversión de la biomasa en energía. Cabe destacar la gran variación de eficiencias de conversión. Esto refleja la diferencia entre las tecnologías anteriores y las actuales. La eficiencia de conversión de la biomasa para calor y energía se basa en la eficiencia media anual<sup>73-84</sup>.

En relación con la adaptación, algunos sectores que están estrechamente gestionados por el ser humano (sistemas alimentarios, silvicultura y sistemas hidrológicos) pueden adaptarse con mayor facilidad a los impactos del cambio climático<sup>16</sup> (sesión 38). La agricultura y la silvicultura, por ejemplo, pueden optar por cultivos o especies de árboles alternativos que necesiten menos cantidad de agua o que toleren una mayor cantidad de la misma, o que sigan siendo productivos a temperaturas superiores. Sin embargo, existen límites para dichas adaptaciones si el clima cambia demasiado o con demasiada rapidez. En la agricultura, la mitigación y la adaptación a menudo implican las mismas estrategias de gestión y, por tanto, pueden conseguirse a la vez, con lo que se obtendrían resultados sinérgicos<sup>85</sup>.

Es más complicado desarrollar estrategias de adaptación para los sistemas naturales, que proporcionan los servicios de ecosistemas indirectos que en última instancia sustentan el bienestar humano. Sería más apropiado contar con un nuevo paradigma de conservación de la naturaleza para hacer frente al cambio climático<sup>16</sup> (sesiones 31 y 38). Este paradigma debería concentrarse principalmente en aumentar la capacidad de recuperación de los sistemas que funcionan adecuadamente. Las estrategias de adaptación adecuadas incluyen la expansión y la conexión de redes de áreas protegidas, el control de las especies exóticas y el uso de una gestión adaptativa activa (Figura 16). Algunas de las herramientas de conservación utilizadas en la actualidad, como la lista roja de especies amenazadas, la

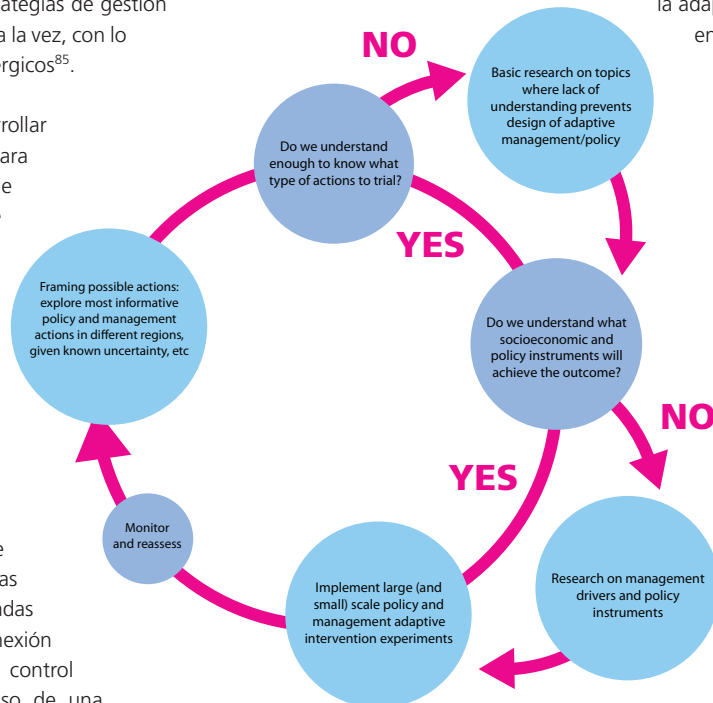
existencia de pequeñas zonas protegidas desconectadas y las fronteras políticas que se convierten en obstáculos para la declaración de especies amenazadas, son herramientas de adaptación no eficaces en relación con el cambio climático<sup>16</sup> (sesión 31).

Aún con los métodos de adaptación más eficaces, habrá un gran número de especies que no sobrevivirá si el cambio climático no consigue frenarse (Mensaje Clave 2). Para evitar que la crisis de extinción de especies empeore, no existe más alternativa que llevar a cabo acciones de mitigación rápidas y eficaces. Además, la inversión en conservación *ex situ*, que consiste en conservar organismos en cautividad o mantener bancos de semillas, podría hacerse con la esperanza de que dichos organismos algún día fuesen devueltos a su estado salvaje si se recuperase el clima adecuado<sup>86</sup>. Sin embargo, en el mejor de los casos, las medidas *ex situ* solo serían viables para un número reducido de especies.

En el caso de los países en vías de desarrollo, en concreto, tal vez el mensaje más importante que se deriva de los esfuerzos actuales de adaptación es que las consideraciones climáticas deberían incluirse tanto en las políticas nacionales como en la asistencia extranjera. La adaptación al cambio climático no puede aplicarse con éxito si se trata como "algo adicional" y se pone en práctica con independencia de otras iniciativas que tienen por objetivo promover el desarrollo económico y social y el aumento de la resiliencia de las sociedades. Aunque todavía desconocemos cuál será el impacto total del futuro cambio climático, algunas tendencias actuales se están haciendo evidentes: está cambiando el acceso al agua dulce, aumenta la frecuencia de las tormentas y las inundaciones, así como las superficie agrícola afectada por la sequía. Muchas de las acciones de adaptación "sin arrepentimiento" ('no regrets' en inglés) podrían ponerse en práctica ya (por ejemplo, aquellas destinadas a conservar el suministro de agua o la seguridad de las viviendas) y así se desarrollaría la capacidad de recuperación social frente a más manifestaciones del cambio climático<sup>66</sup>.

Como parte de la construcción de una adaptación eficaz, es urgente investigar las implicaciones de las políticas existentes y de las posibles políticas futuras en relación con la adaptación: ¿respaldan u obstaculizan la adaptación y cómo habría que cambiarlas? La inversión en infraestructuras también ha de tenerse en cuenta en un contexto de adaptación al cambio climático: ¿qué proyectos tienen la mejor relación coste-beneficio y cuándo deberían tomarse decisiones en materia de inversiones? Más aún, puesto que el clima se está situando en el rango más alto de las previsiones, las sociedades necesitan políticas, prácticas e infraestructuras de adaptación para poder hacer frente a los acontecimientos extremos en el límite más grave de distribución de la probabilidad. Así pues, las estrategias de adaptación deberían incluir un componente sólido de preparación ante posibles desastres, haciendo aún mayor hincapié en los servicios de gestión de emergencias<sup>16</sup> (sesión 32).

Del mismo modo que son necesarios por separado estos enfoques de mitigación y adaptación, también está convirtiéndose en una necesidad primordial la integración de las actividades de adaptación y mitigación en un marco de sistemas. Dicha integración tiene por objeto poder captar las sinergias que

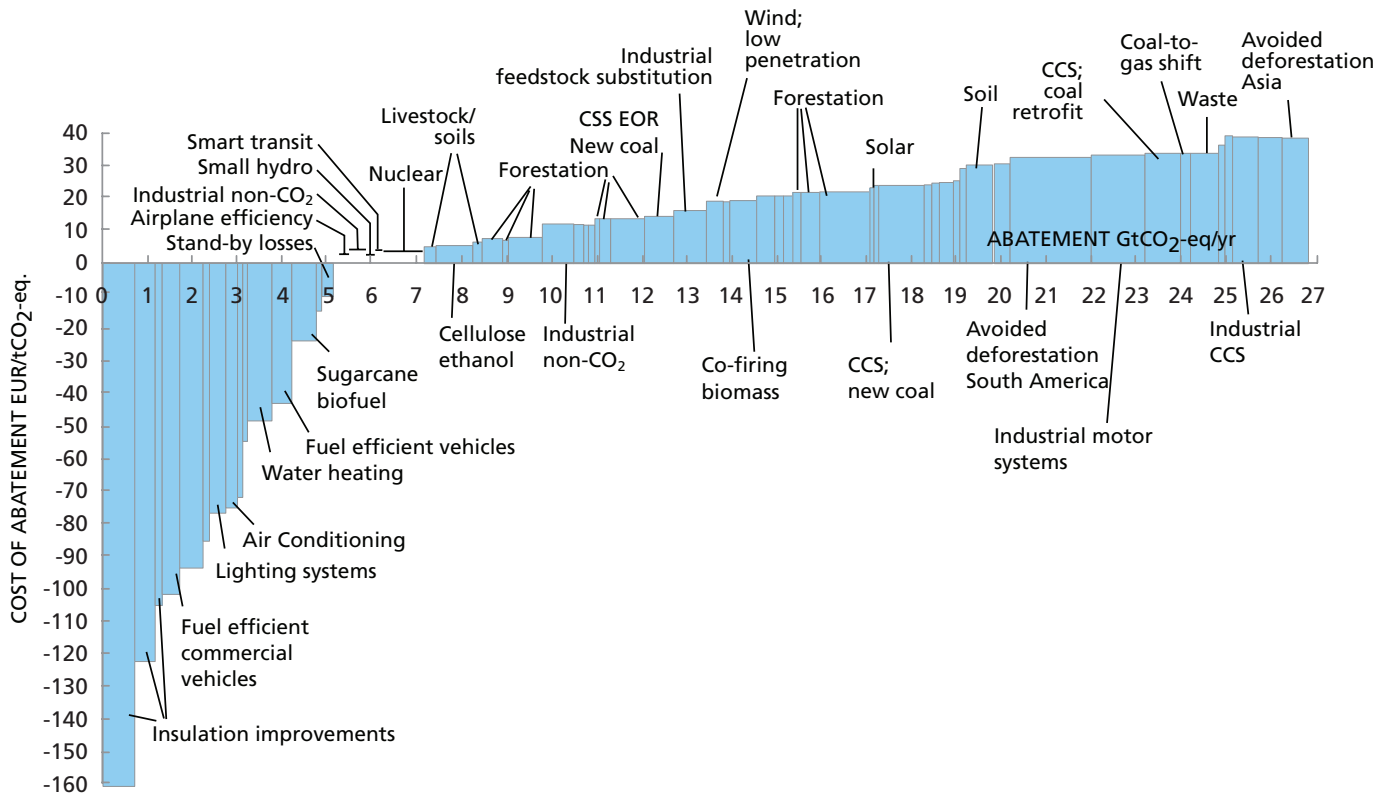


**Figura 16**  
Representación visual de una gestión adaptativa activa, un enfoque iterativo construido en torno al desarrollo explícito, basado en la experimentación de opciones de gestión verosímiles<sup>72,86</sup>.

# Las ventajas de descarbonizar la economía

Prof. Daniel Kammen, [kammen@berkeley.edu](mailto:kammen@berkeley.edu)

## RECUADRO 11



Una de las lecciones más importantes de la rápida expansión de la combinación de eficiencia energética, tecnologías solares, eólicas, biocombustibles y otras tecnologías con bajas emisiones de carbono es que los costos de despliegue son más bajos de lo previsto y que, al mismo tiempo, las ventajas son superiores a lo esperado. Esta aparente afirmación en la que todos salen ganando merece ser examinada y, obviamente, debe constatar su validez de forma continuada.

Durante la última década, los mercados de energía eólica y solar han ido creciendo a ritmos superiores al 30% anual, y en los últimos años en el sector de la energía solar se han producido crecimientos superiores al 50% anual<sup>91</sup>. Este crecimiento rápido y sostenido ha implicado que los costos caigan de manera constante, y que se haya formado un conjunto cada vez más diverso de tecnologías y empresas. Las políticas gubernamentales de un número cada vez mayor de ciudades, estados y naciones están encontrando modos creativos y rentables de seguir construyendo esos mercados.

Al mismo tiempo, un variado conjunto de tecnologías con bajas emisiones de carbono están encontrando el modo de acceder al mercado, y es cada vez mayor el despliegue de las tecnologías y prácticas de eficiencia energética como, por ejemplo, las ventanas "inteligentes", los sistemas de iluminación y de calefacción y ventilación eficientes desde el punto de vista energético, los productos de climatización y los electrodomésticos eficientes. Muchas de estas innovaciones de eficiencia energética demuestran tener costos negativos a lo largo del tiempo, lo que implica que cuando se tabulan todos sus beneficios (incluida la mejora de la calidad de los servicios energéticos, de la salud y de la productividad de los trabajadores), algunas inversiones en eficiencia energética son vehículos para la creación neta de beneficios sociales a lo largo del tiempo.

Las curvas del costo de atenuación de carbono saltaron a la fama cuando la compañía eléctrica sueca Vattenfall colaboró con la empresa McKinsey para desarrollar una serie de estimaciones sobre los costos que supondría el despliegue y el funcionamiento de una serie de tecnologías de eficiencia energética, uso del suelo y generación de energía. Estas curvas sobre los costos de carbono conservado representan los costes (o los ahorros, en el caso de una serie de opciones de "costos negativos", como la generación de eficiencia), así como la magnitud (en gigatoneladas) del potencial de atenuación en un futuro previsto. Las líneas más comunes son las correspondientes al año 2030.

La figura muestra las famosas "curvas de Vattenfall o de McKinsey", que incluyen un conjunto de dichas estimaciones sobre costos/compensaciones que integran tanto las tecnologías de generación de energías limpias como la eficiencia energética; en este caso se presenta una imagen correspondiente al año 2030.

Existen muchas más innovaciones en un horizonte cercano, incluidas aquellas que utilizan financiación municipal innovadora para eliminar por completo los costos iniciales de las inversiones en energías renovables y eficiencia energética a través de préstamos que se van devolviendo a lo largo de la duración de los servicios proporcionados por productos energéticos limpios y eficientes<sup>92</sup>.



augmenten la eficacia de cada una de sus partes y evitar los resultados adversos en los que las actividades de mitigación podrían acarrear consecuencias perjudiciales para la adaptación y *viceversa*. La necesidad de encontrar enfoques integradores a nivel de sistemas es más apremiante en el uso del suelo. Uno de los mayores desafíos para la sociedad, a medida que sigue creciendo la población mundial, consiste en establecer las prioridades del uso del suelo para equilibrar las necesidades locales, como la producción de alimentos y la asignación de espacio para viviendas y negocios, y las necesidades globales, como la eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, la producción de biomasa para producir energía y biocombustibles, y la protección de la biodiversidad.

En la actualidad, aproximadamente el 12% de la superficie de suelo de la Tierra está dedicada a la producción intensiva de cultivos<sup>88,89</sup> y una zona mucho mayor está formada por praderas y dehesas, utilizadas para la explotación de ganado. Cerca del 70% del agua dulce destinada al uso humano se utiliza en la agricultura<sup>90</sup>. Puesto que la demanda de alimentos sigue aumentando a la par de la población mundial, y puesto que, además, hay una creciente demanda de actividades de mitigación basadas en el suelo y una necesidad cada vez mayor de destinar “suelo para la naturaleza”, la sociedad se ve presionada para gestionar de forma equitativa una competencia sin precedentes por el suelo y el agua a todos los niveles, desde el local al global.

Buena parte del cambio de la superficie de suelo de la Tierra ha sido causado por la prestación de servicios de los ecosistemas a una población urbana cada vez mayor. Más de la mitad de los seres humanos viven actualmente en ciudades, pero las áreas urbanas representan aproximadamente el 75% de las emisiones de gases de efecto de invernadero de la humanidad, ya sea de forma directa o indirecta<sup>16</sup> (sesión 33). Muchas ciudades son también particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático, como los acontecimientos climáticos extremos y el aumento del nivel del mar. Esto ha impulsado a la ONU a declarar que la guerra contra el cambio climático se ganará o se perderá en las ciudades<sup>16</sup> (sesión 33), y eso hace que sea particularmente importante alcanzar un enfoque integrado para la adaptación y mitigación en áreas urbanas (Recuadro 12).

En resumen, la sociedad cuenta con muchas herramientas para facilitar tanto la mitigación del cambio climático como la adaptación a los impactos que no puedan evitarse, pero sigue habiendo debates en torno a las formas de seguir desarrollando y poner en práctica dichas herramientas<sup>16</sup> (sesiones 40, 41 y 43). La sociedad cuenta también con una serie de enfoques económicos destinados a promover la adopción de dichas herramientas y a estimular la transición energética necesaria para frenar el calentamiento de la Tierra (Recuadro 8). Los ingredientes críticos que faltan para conseguir la transición social que exige el cambio climático son la voluntad política y la aceptación social de la necesidad de que se produzca un cambio.

## Cambio climático y áreas urbanas

Prof. Roberto Sánchez Rodríguez, [roberto@ucr.edu](mailto:roberto@ucr.edu)

### RECUADRO 12

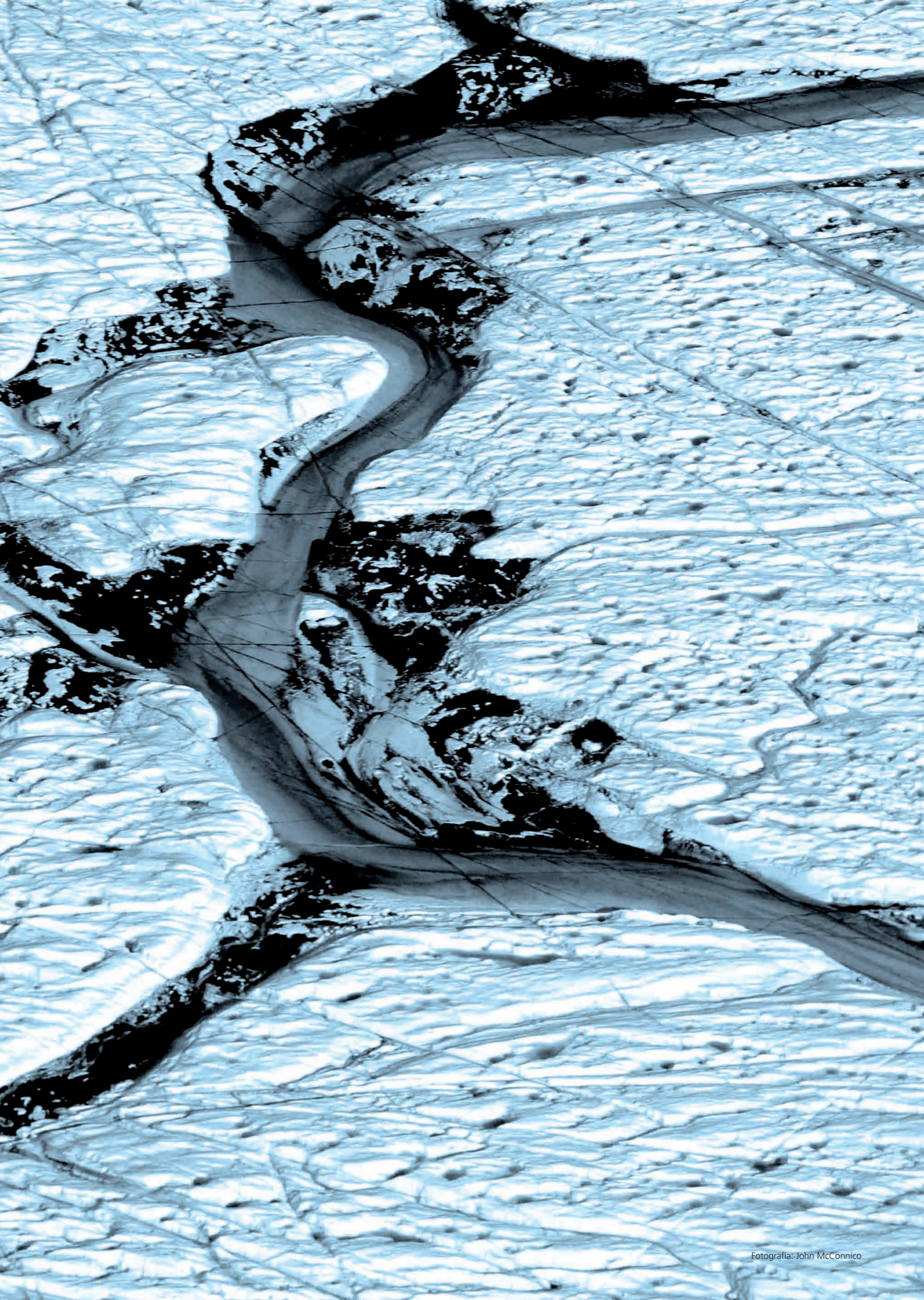
El cambio climático no es tan solo un problema medioambiental, sino que también es un gran reto para el desarrollo de las zonas urbanas. Las áreas urbanas son muy vulnerables a las crisis y a los desastres asociados a la variabilidad climática y al cambio climático. Sus impactos acumulados tienen importantes costos económicos y humanos; lo que rápidamente genera graves obstáculos o situaciones de emergencia en el suministro de recursos básicos como el agua, la energía o los alimentos; y a la vez afecta a las condiciones de vida de un gran número de personas. La ONU considera que los desastres acontecidos entre 1995 y 2004, el 75% de los cuales estaban relacionados con fenómenos climáticos extremos, afectaron en total a más de 2.500 millones de personas.

Reducir la vulnerabilidad social y urbana y aumentar la adaptación a los impactos del cambio climático ofrece ventajas sociales, económicas, ambientales y en la salud pública para los gobiernos locales y nacionales. Algunos de los elementos importantes de las estrategias de adaptación son la mitigación de la pobreza, la mejora de las estrategias de los modos de vida, la generación de capital humano, la protección de los activos ambientales, la mejora de la sanidad pública y la creación de oportunidades para el desarrollo sostenible. También existe la apremiante necesidad de incorporar criterios de adaptación al cambio climático

en el diseño y la planificación de las zonas edificadas (infraestructuras urbanas, edificios y transporte). Por lo general, la vida útil de las infraestructuras es de 75 años. Las edificaciones que se construyan en la actualidad tendrán que funcionar bajo distintas condiciones climáticas a lo largo de las próximas décadas. Las inversiones actuales rara vez tienen en cuenta los posibles impactos del cambio climático, que podrían ocasionar problemas considerables en su funcionamiento.

Al incorporar estrategias de adaptación multidimensionales en las actuales estrategias de desarrollo urbano estaremos haciendo un uso eficaz de los escasos recursos naturales, económicos, técnicos y humanos, especialmente en los países pobres y en las economías emergentes. Un paso crítico en esta dirección es ayudar a los encargados de la formulación de políticas, a los responsables de urbanismo y a otras partes interesadas a incorporar estrategias de adaptación y a definir vías sostenibles y alternativas de crecimiento urbano. Disponemos de una gran oportunidad para integrar estrategias de desarrollo, de mitigación y de adaptación que creen unas zonas urbanas más resilientes. Un mayor retraso en el desarrollo y la puesta en práctica de estas estrategias de adaptación tendrá graves consecuencias para millones de habitantes urbanos y, en última instancia, para las economías locales y nacionales.







## MENSAJE CLAVE 6

# SUPERAR EL DESAFÍO

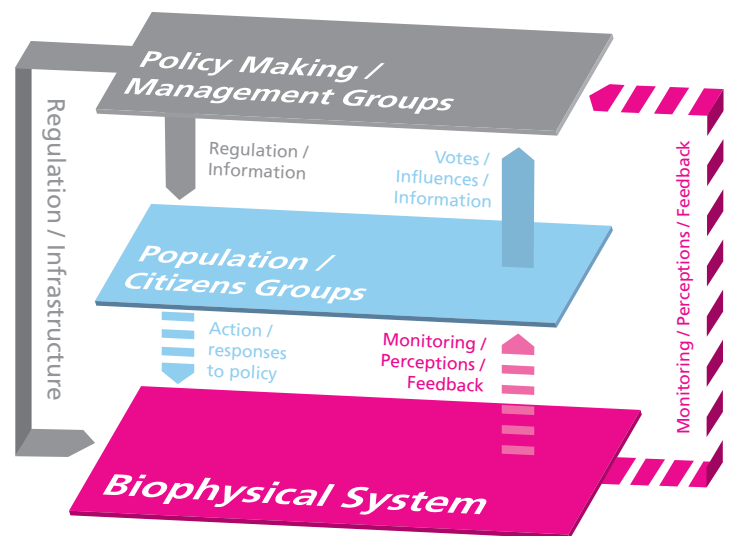
A fin de conseguir la transformación social necesaria para afrontar el desafío del cambio climático, se deberán superar barreras considerables y aprovechar oportunidades críticas. Entre ellas, deberá reducirse la inercia en los sistemas sociales y económicos; asimismo, deberá alimentarse el creciente deseo público de que los gobiernos actúen para frenar el cambio climático; reducir las actividades que aumenten las emisiones de gases de efecto de invernadero y reduzcan la capacidad de resiliencia (por ejemplo, mediante subsidios); y facilitar la transición de una gobernanza ineficaz e instituciones débiles a un liderazgo innovador en el gobierno, el sector privado y la sociedad civil. Vincular el cambio climático a cuestiones más amplias sobre producción y consumo sostenibles, los problemas de derechos humanos y los valores democráticos es esencial para que las sociedades adopten patrones de desarrollo más sostenibles.

Las pruebas presentadas anteriormente sobre la naturaleza de un cambio climático peligroso (Mensajes Clave 1 y 2), las vías de reducción de las emisiones necesarias para evitar un cambio climático peligroso (Mensaje Clave 3) y la necesidad de afrontar este desafío de forma equitativa (Mensaje Clave 4) transmiten, en conjunto, un mensaje claro y fuerte: “la forma tradicional de hacer negocios ha muerto”<sup>39</sup>. Los cambios marginales en la actual trayectoria socioeconómica y tecnológica de la sociedad contemporánea no serán suficientes para facilitar la transición social que será necesaria para mantener el cambio climático dentro de la barrera de seguridad de los 2 °C. Tenemos a nuestro alcance multitud de herramientas tecnológicas y de gestión, así como políticas para impulsar la transformación que necesitamos (Mensaje Clave 5). Los desafíos primordiales pasan por desencadenar, facilitar y respaldar la transición, eliminando las barreras y aprovechando las muchas oportunidades que ofrece una transformación social de ese tipo.

La investigación necesaria para informar y respaldar una gran transformación social se centra, en primer lugar, en los ámbitos de las Humanidades y las Ciencias Sociales, que han tenido un papel menos destacado en el discurso sobre el cambio climático que las Ciencias Naturales o la Economía. Sin embargo, sus concepciones acerca de las culturas, conductas y organizaciones humanas son esenciales para superar el reto del cambio climático.

Hacer realidad el paso de la sociedad contemporánea hacia un futuro más sostenible debería materializarse a distintas escalas (desde la escala individual a la institucional y gubernamental) y a muchos niveles diferentes (desde cambios en el comportamiento cotidiano hasta una reconsideración de los principales valores, creencias y visiones del mundo (Recuadro 13). De hecho, los términos utilizados para discutir el cambio climático provocado por el ser humano a menudo son el reflejo de las visiones del mundo subyacentes. Por ejemplo, centrarnos en el proceso político de “reducciones” de los gases de efecto de invernadero y de “compartir la carga” refuerza la idea de que la mitigación del cambio climático es un mal que debe ser evitado en la medida de lo posible.

Por otro lado, si nos centramos en los beneficios derivados de evitar los graves impactos de un cambio climático constante, o en las oportunidades laborales y económicas derivadas de descarbonizar la economía (Recuadro 11), estaremos construyendo visiones del mundo mucho más positivas y optimistas.



**Figura 17**  
Interacciones típicas en sistemas de gobernanza de varios niveles, en los que los grupos de ciudadanos desempeñan un papel clave en la mediación entre la elaboración de políticas a escala regional o nacional y la gestión sobre el terreno de los sistemas biofísicos, que generalmente tiene lugar a escala local. Dichos procesos, organizados profesionalmente a distintos niveles, pueden contribuir a reducir la falta de concordancia entre las escalas y la incoherencia de las políticas, así como a respaldar los cambios normativos y sociales integrados<sup>93</sup>.

Muchas visiones del mundo hacen hincapié en la importancia de las acciones gubernamentales para hacer frente al cambio climático, aunque se pueden conseguir ciertos logros mediante el reconocimiento y la promoción de un amplio abanico de actores no estatales que utilizan métodos de “prácticas sociales” para trabajar a partir de las acciones voluntarias individuales y de pequeños grupos<sup>16</sup> (sesión 48). El cambio de conducta está en el centro de cualquier transformación y la experiencia y el aprendizaje social ofrecen mucha esperanza para el futuro (Recuadro 14).

Las personas, por sí solas, no pueden resolver el problema del cambio climático, como tampoco pueden hacerlo los gobiernos nacionales por sí mismos. Para desarrollar una respuesta social, es esencial la labor de un amplio abanico de otras organizaciones: empresas multinacionales y otros grupos empresariales, ONG medioambientales, organizaciones de investigación científica y organismos



## Culturas, valores y perspectivas mundiales como factores de las respuestas al cambio climático **RECUADRO 13**

Prof. Karen O'Brien, [karen.obrien@sosgeo.uio.no](mailto:karen.obrien@sosgeo.uio.no) y Prof. Thomas Heydt, [heydt@uvic.ca](mailto:heydt@uvic.ca)

Ninguna política climática recibirá el respaldo que necesita, ya sea formalmente en el escenario político o de forma pragmática en el día a día, a menos que se tengan en cuenta desde el principio las culturas, los valores y las perspectivas mundiales. Las razones son muy simples. En primer lugar, ni siquiera la información científica más sofisticada y la evaluación de riesgos son necesariamente percibidas por sus destinatarios de la misma manera en que las entienden sus creadores. En segundo lugar, para que las políticas sean eficaces han de tener en cuenta la configuración sociocultural que precede al intento de puesta en práctica de las mismas. Los siguientes puntos subrayan el significado de esta importante conclusión:

- La información sobre el cambio climático y las interpretaciones locales de las evaluaciones del riesgo están mediadas culturalmente a través de formas emocionales concretas de razonamiento, procesos típicos de elaboración del significado, concepciones específicas del paisaje y la variabilidad y el cambio climático, así como nociones idiosincráticas de la mitigación del riesgo.
- Las creencias religiosas y espirituales locales, los sistemas de conocimiento, el entendimiento de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad, así como los valores y la ética son elementos que influyen en cómo las personas y las comunidades perciben el cambio climático y responden ante él. La ciencia relacionada con el cambio climático debería reconocer estos contextos de experiencias y culturas locales e indígenas, e intentar relacionarse con ellos durante la promoción de las actividades de adaptación y mitigación en la sociedad.

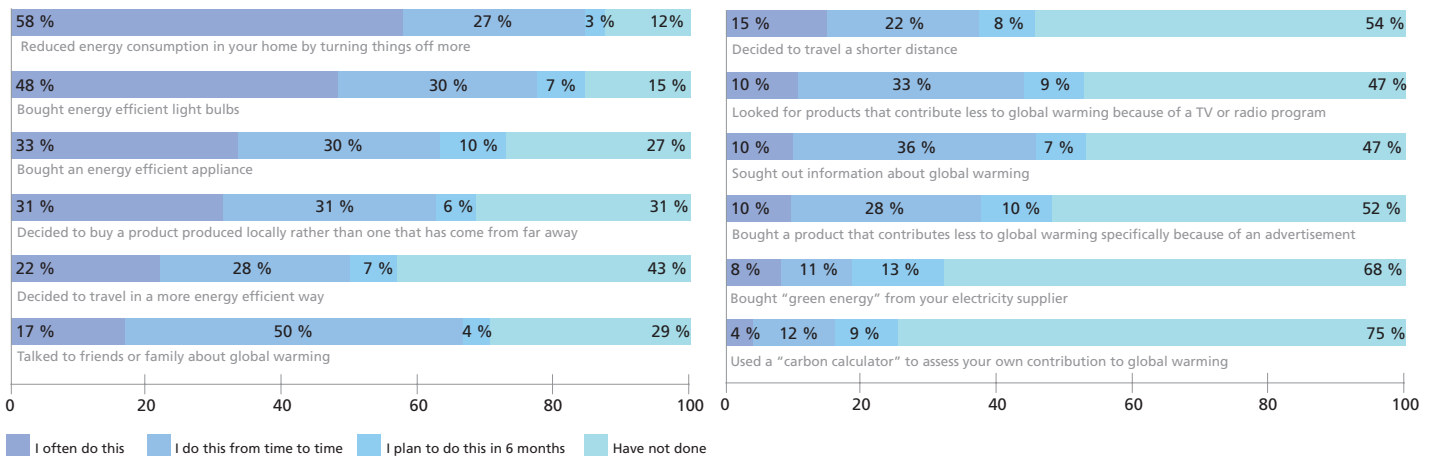
- La puesta en práctica de estrategias de adaptación puede comportar problemas que trasciendan las relaciones de poder en situaciones existentes de desigualdad, lo que puede tener efectos a largo plazo imprevisibles para las personas y las comunidades. Esto exige enfoques que promuevan la reflexión en contextos de toma de decisiones abiertos y democráticos. En otras palabras, se han de evaluar las consecuencias sociales y culturales de las respuestas al cambio climático, incluida la pregunta de "¿qué valores cuentan?"

La investigación sobre el papel de la cultura, los valores y las visiones del mundo tanto en la generación del cambio climático como en las respuestas que ante él se planteen debe convertirse en una de las principales prioridades. Las dimensiones culturales y de experiencias del cambio climático deben integrarse en una investigación sobre el cambio climático más estándar, más orientada hacia los sistemas, y han de incluirse tanto en la investigación de la mitigación y la adaptación como en los programas de puesta en práctica. Esta conclusión aboga por un papel nuevo, más amplio, de las Ciencias Sociales y las Humanidades a la hora de gestionar los retos del cambio climático. Sugiere, además, la necesidad de una agenda de investigación realmente interdisciplinar e integrada que coloque al cambio climático en un contexto social más profundo y rico.

## La importancia de un cambio de conducta **RECUADRO 14**

Prof. Diana Liverman, [liverman@u.arizona.edu](mailto:liverman@u.arizona.edu)

### What Have You Done to Reduce Your Impact on Climate Change? (US & UK combined)



Acciones adoptadas por las personas físicas para reducir su contribución al cambio climático. Los datos se basan en una encuesta realizada a 2734 ciudadanos estadounidenses y británicos por Accountability, en junio de 2007, "What Assures Consumers on Climate Change?" (¿Qué garantías tienen los consumidores en relación con el cambio climático?)<sup>94</sup>.

Los ciudadanos, a título individual, pueden desempeñar un papel importante en la respuesta al cambio climático, especialmente cuando toman decisiones para reducir sus emisiones de gases de efecto de invernadero o adaptarse al cambio climático. También es esencial contar con el respaldo público para garantizar el éxito de las acciones gubernamentales nacionales y regionales. Las percepciones del público pueden obstaculizar la aceptación de las tecnologías de mitigación. Existen muchas pruebas de que el cambio de las conductas individuales puede contribuir a las reducciones de las emisiones, especialmente en los hogares y en materia de transporte, y cuando se trata de iniciativas que cuentan con el apoyo de políticas gubernamentales, incentivos y actividades del sector privado (véase la figura). Buena parte de las reducciones de costos más bajas en las emisiones de gases de efecto de invernadero se concentra en el sector residencial, donde el uso de aislamientos, electrodomésticos y sistemas de iluminación eficaces, así como la información procedente de contadores inteligentes o de las facturas de energía, son acciones que pueden generar reducciones rápidas en la demanda energética con un ahorro económico neto, en lugar de implicar un costo (véase el recuadro 11).

Los cambios de comportamiento o de actitud también son importantes en términos de liderazgo político y corporativo. Por ejemplo, en el caso de los líderes empresariales y los alcaldes de las ciudades que han llegado a compromisos significativos en materia de reducciones de emisiones que trascienden las obligaciones políticas nacionales o los simples análisis de costo-beneficio. En términos de adaptación, millones de agricultores y ganaderos han ajustado sus prácticas a los giros climáticos que se produjeron en el pasado y ya están tomando decisiones en respuesta al inicio del calentamiento y otras transformaciones asociadas con el cambio climático. La política internacional ha de respaldar la acción de las personas para responder al cambio climático, y asegurarse de no limitarla, así como reconocer la importancia de proporcionar información relevante a los ciudadanos para que puedan tomar decisiones informadas sobre las políticas de apoyo y sobre cómo cambiar sus propias conductas<sup>16</sup> (sesión 20)<sup>62,95</sup>.



de gobiernos subnacionales. La comunidad empresarial, en concreto, insiste cada vez más en la necesidad de encontrar marcos políticos que generen un entorno positivo para la inversión y el cambio. Algunas de las características de este entorno son las siguientes: (i) alianzas para la acción que construyan una estrategia común, incluso si las motivaciones subyacentes no están alineadas; (ii) generación de confianza entre empresas y la sociedad civil; y (iii) liderazgo que capacita a las personas y contribuye al aprendizaje y a la gestión adaptativa<sup>16</sup> (sesiones 48 y 54).

La sociedad civil (las comunidades y las partes interesadas) se compromete con la política climática de muchas formas distintas (Figura 17). Una parte esencial de muchos de los enfoques utilizados son los compromisos o las consultas con las partes interesadas. El compromiso ha de ser bidireccional: no solo han de distribuir información los expertos, sino que también han de obtener las opiniones de la comunidad<sup>16</sup> (sesión 39). Sin embargo, el intercambio informativo a través de los medios de comunicación plantea retos notables, puesto que el problema del cambio climático se presenta a menudo como un “gran debate sobre el calentamiento de la Tierra”, más que como una representación del acuerdo convergente en materia científica y las complejidades y sutilezas de la interfaz entre ciencia y política<sup>16</sup> (sesiones 53 y 54).

Las respuestas en el ámbito comunitario frente al cambio climático pueden alcanzar su máxima eficacia si son una combinación de experiencia y conocimientos locales y de aportaciones de expertos. El empoderamiento es un concepto clave, y la mejor forma de alcanzarlo pasa por la definición meticulosa del propósito del compromiso de las partes interesadas y la estructuración de los procesos que permitirán la participación plena de los miembros de la comunidad. Para pasar del compromiso comunitario a la acción comunitaria (el resultado que se obtiene generalmente si el compromiso es eficaz), exige la consideración proactiva de las instituciones, los recursos y la asistencia técnica necesarias para respaldar dichas acciones<sup>16</sup> (sesión 54).

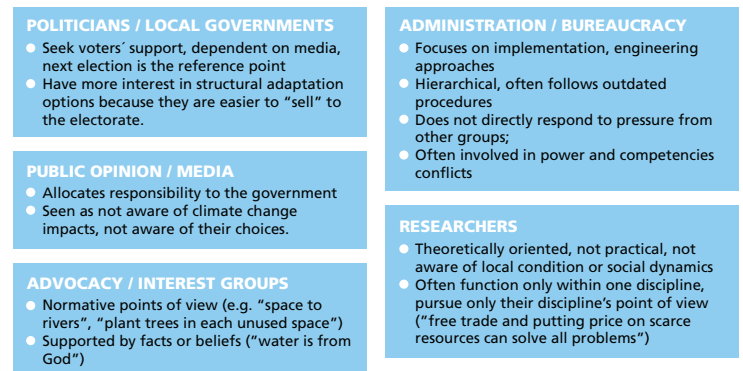
A escala nacional y global, los instrumentos económicos, como la fijación del precio de las emisiones y, más en general, los enfoques basados en el mercado son esenciales. Sin embargo, puede que sean necesarios otros enfoques. Por ejemplo, una estrategia de inversión impulsada nacionalmente pero coordinada a escala global, que tal vez aproveche la oportunidad que le brinda la crisis económica global, podría promover activamente formas de desarrollo respetuosas con el medio ambiente y conseguir la difusión tecnológica y las reducciones de las emisiones con más rapidez de la que se conseguiría únicamente a través de los instrumentos de mercado. Dada la urgencia del reto del cambio climático (Mensaje Clave 1), “concentrar los gastos al principio” (por ejemplo, impulsar mucho y de forma inmediata la inversión en sistemas de eficiencia energética y de energías renovables) es probable que resulte más eficaz que adoptar un enfoque más gradual<sup>16</sup> (sesión 55). Pueden ser necesarios otros enfoques visionarios a gran escala regional o global con objeto de transformar la gestión de nuestra relación con el medio ambiente del planeta. Un enfoque de este tipo podría consistir en considerar una nueva división global de las actividades de uso del suelo que podría mejorar notablemente el patrón geográfico de producción de alimentos y fibra, de protección de la diversidad, y de generación de energía e infraestructura (Recuadro 15).

Otro reto de igual magnitud consiste en transformar el panorama de la gobernanza internacional actual, pasando de un conjunto de regímenes o

sistemas de gobernanza individuales a una arquitectura institucional integrada para la gobernanza del Sistema Terrestre. Una estrategia de éxito en la construcción de dicha arquitectura debería estar coordinada de manera cuidadosa y multidimensional, y cimentarse en una serie de disposiciones institucionales existentes: (i) otros regímenes medioambientales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica, CBD; (ii) mecanismos económicos o comerciales internacionales, como la Organización Mundial del Comercio (OMC), y el Banco Mundial; y (iii) organizaciones orientadas al desarrollo y cuyo objetivo sea aliviar la pobreza, como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), y los bancos regionales de desarrollo. En última instancia, para superar el desafío del cambio climático, será necesario contar con un mosaico de enfoques diseñados para construir un sistema integrado de gobernanza<sup>16</sup> (sesión 48).

En los sistemas políticos democráticos, los votantes individuales solo podrán impulsar esa transformación (desde cambios pragmáticos en sus prácticas vecinales hasta la construcción de nuevos sistemas de transporte y de energía multinacionales y la generación de nuevos regímenes institucionales) si sus valores son profundos y lo bastante sólidos como para adoptar decisiones duras y a largo plazo (Recuadro 13). Así pues, ninguna política sobre cambio climático tendrá éxito a menos que las culturas, visiones del mundo y valores básicos cambien de manera que respalden el desarrollo de políticas eficaces y su puesta en práctica<sup>16</sup> (sesiones 54 y 57).

La información científica, las tecnologías y los instrumentos económicos forman todos ellos parte de la solución, aunque su interpretación y aplicación están mediadas por las culturas y las visiones del mundo de las personas y las comunidades (Figura 18). Las creencias religiosas y espirituales, los sistemas de conocimiento autóctonos, el entendimiento de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad, así como los valores y la ética, son elementos que influyen en cómo las personas y las comunidades perciben el cambio climático y responden ante él<sup>16</sup> (sesión 57). En última instancia, estas dimensiones humanas del cambio climático determinarán si la humanidad podrá conseguir la gran transformación que tiene ante sí a principios del siglo XXI o si, por el contrario, acabará el siglo llevando una “miserable existencia en un mundo con +5 °C”<sup>101</sup>.

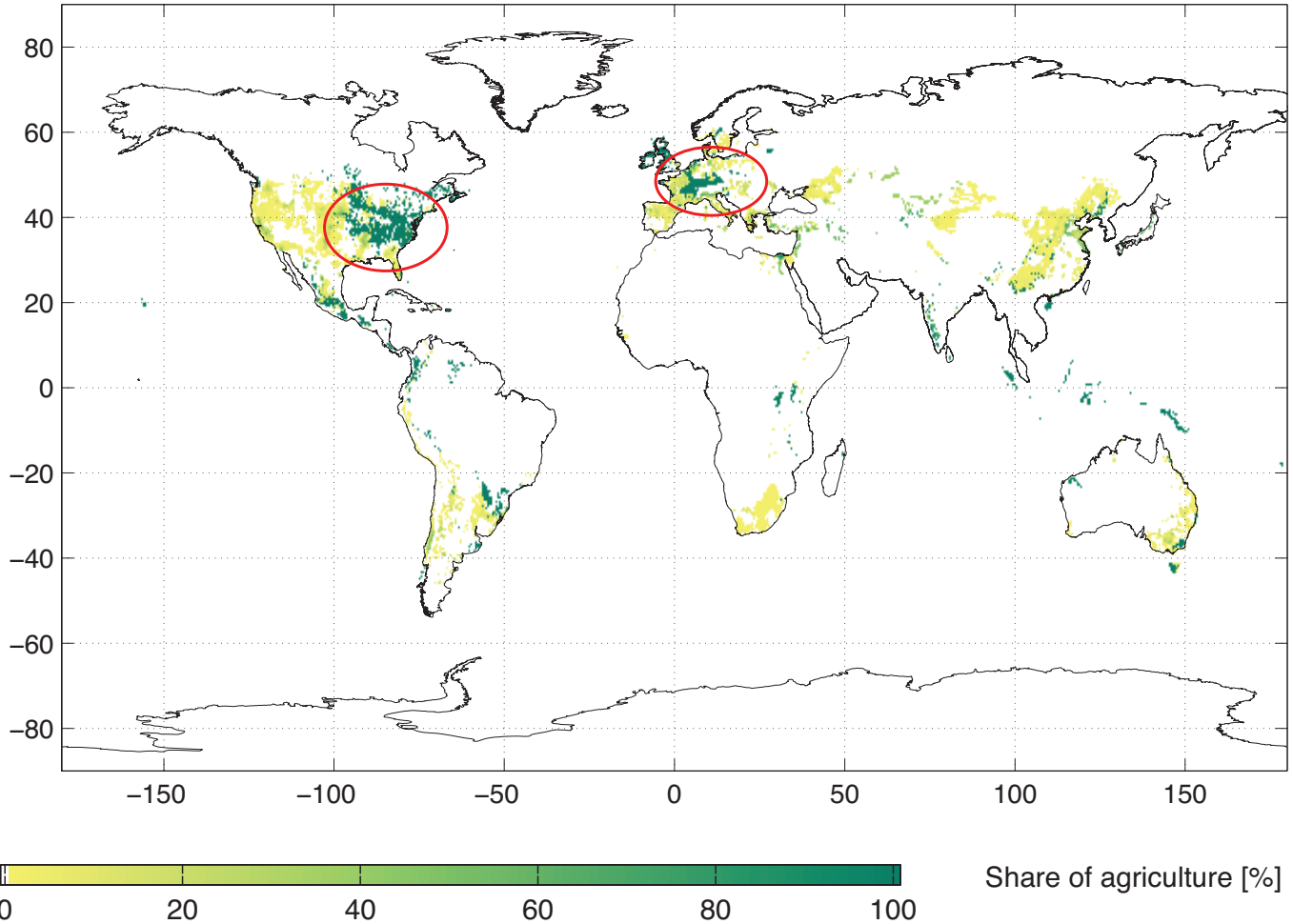


**Figura 18**  
*Grupos de modelos mentales compartidos. Los modelos mentales varían de un grupo social a otro y afectan a la percepción de las personas sobre el problema del cambio climático; son difíciles de cambiar y pueden crear barreras para la comunicación y la acción<sup>99</sup>. En consecuencia, un reto crítico para hacer frente de forma eficaz al cambio climático consiste en alcanzar consenso en la sociedad sobre la naturaleza de la amenaza del cambio climático y la estrategia global para afrontarla. De hecho, es necesario alcanzar un modelo único o perspectiva mental de alto nivel. De no hacerlo, es poco probable que podamos conseguir una política eficaz de acción para el clima.*

## ¿Hacia una gran transformación del uso del suelo?

RECUADRO 15

Prof. Hans Joachim Schellnhuber, [John@pik-potsdam.de](mailto:John@pik-potsdam.de) y Veronika Huber [huber@pik-potsdam.de](mailto:huber@pik-potsdam.de)

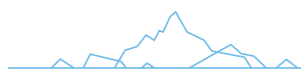


Clasificación de los emplazamientos mundiales en función de su idoneidad para la producción alimentaria según las prácticas de gestión actuales (extraída de<sup>98</sup>). Las elipses en rojo marcan las principales regiones que deben considerarse "zonas agrícolas comunes a nivel global".

Mantener el calentamiento de la Tierra por debajo de los 2 °C exigirá todo nuestro ingenio para hacer realidad una evolución climática inteligente de las estructuras ya existentes, aunque también deberán adoptarse medidas de transformación a gran escala. En concreto, el patrón de uso del suelo vigente en la actualidad en el planeta deberá experimentar profundos cambios, puesto que es el resultado subóptimo de unos procesos históricos erráticos que no tenían en cuenta las consideraciones de sostenibilidad global. En el futuro, el uso del suelo en nuestro planeta deberá satisfacer las múltiples exigencias contrapuestas de alimentación y fibra, energía, servicios, infraestructura y conservación de cerca de 9.000 millones de personas, en una superficie global que no puede ampliarse. Deberán salvarse nuevos retos, como la creación de sumideros artificiales de carbono mediante la captación biológica, para evitar un cambio climático peligroso<sup>96</sup>.

Es necesario que la ciencia demuestre (i) cómo sería un patrón de uso de la tierra "óptimo"; (ii) que dicho patrón garantizaría la generación de cantidades suficientes de las funciones y recursos deseados; y (iii) qué estrategias sociopolíticas podrían materializar la transformación prevista dentro de unos márgenes de tiempo adecuados. La comunidad científica internacional está empezando a tratar esos problemas, aunque ya se dispone de algunas ideas acerca de los dos primeros aspectos.

Por ejemplo, el Consejo Asesor Alemán sobre el Cambio Global (WBGU) ha publicado recientemente varios informes que identifican aquellas áreas de la Tierra que deberían dedicarse al apoyo de la biodiversidad, a la producción de biomasa y a la recuperación de energía renovable, respectivamente<sup>97</sup>. Una conclusión importante es que la forestación de suelo degradado puede explotar un potencial de bioenergía sostenible de cerca de 100 exajulios. Los análisis dirigidos por el Potsdam Institute<sup>98</sup> también indican que podría alimentarse a 12.000 millones de personas con los hábitos alimentarios de 1995 y utilizando menos de un tercio del área agrícola actual, si se utilizasen los mejores emplazamientos para los cultivos más adecuados y si el comercio mundial de alimentos funcionase sin verse distorsionado por el proteccionismo. Sin embargo, este audaz enfoque solo sería viable si los emplazamientos principales (que se detallan en la figura) fuesen reclamados/reservados para fines agrícolas, como parte de un pacto global a largo plazo, del mismo modo que sería de esperar que las selvas tropicales fuesen destinadas a su conservación como parte del patrimonio común internacional.



# EL CAMINO POR ANDAR

Muchos problemas medioambientales del pasado se resolvieron cuando los humanos se dieron cuenta de que sus propias actividades traían consigo consecuencias perjudiciales para su salud y bienestar. Respondieron a esto cambiando sus conductas y desarrollando nuevas tecnologías. ¿Responderá nuestra sociedad contemporánea de forma similar al desafío que actualmente nos plantea el cambio climático? El cambio climático es fundamentalmente distinto a los problemas ambientales que ha tenido que enfrentar el ser humano hasta la actualidad. Los riesgos, las escalas y las incertidumbres asociados al cambio climático son enormes y existe una probabilidad significativa de que se produzcan resultados devastadores a escala global.

La naturaleza del desafío del cambio climático exige un pensamiento visionario e innovador. El concepto de límites planetarios<sup>100</sup>, que aspiran a definir el “margen seguro de operaciones” para la Humanidad, se inspira en la experiencia previa de las sociedades que regularon sus propias conductas cuando tuvieron conocimiento de las consecuencias indeseables que comportaban sus acciones. Los límites planetarios se definen en relación con los umbrales biofísicos de la Tierra, traspasarlos acarrearía resultados catastróficos para las sociedades (véanse los elementos de inflexión, Mensaje Clave 2). Las pruebas científicas coinciden en indicar que existe un límite superior para la concentración de gases de efecto de invernadero en la atmósfera o, dicho de otro modo, un “límite de cambio climático”, dentro del cual debería trabajar la humanidad para reducir los riesgos de que se produzcan resultados catastróficos. A pesar de que se desconoce todavía la posición exacta en la que nos hallamos, las pruebas actuales indican que la humanidad se está acercando con rapidez a dicho límite o que incluso puede haberlo traspasado<sup>16</sup>. En consecuencia, la necesidad de que se consigan reducciones drásticas y rápidas en las emisiones de gases de efecto de invernadero es apremiante si se quiere evitar que estas tengan impactos climáticos graves.

Vivir dentro de los desafiantes límites impuestos por el cambio climático puede parecer a menudo inmensamente difícil. No existe ningún tratado o “solución tecnológica milagrosa” que pueda transformar la sociedad contemporánea de forma rápida e indolora. Para que una sociedad que vive dentro de los límites del cambio climático se transformase, sería necesario contar con el tiempo necesario y el compromiso de todos los niveles y miembros de la sociedad. Como punto de

partida, es esencial establecer objetivos a largo plazo en materia de reducción de emisiones si la sociedad quiere reducir el riesgo de cambios climáticos peligrosos hasta niveles aceptables. Las trayectorias proporcionan indicadores a lo largo del proceso para cumplir los objetivos marcados, pero hay muchas rutas posibles que podría seguir la humanidad y que le permitirían mantenerse dentro de los límites generales del cambio climático.

Así pues, en 2009 la sociedad no puede determinar con exactitud cuál es la ruta “correcta” o la “mejor” hasta el año 2050 y más allá de esa fecha. Habrá en el futuro cambios tecnológicos, sociales y de valores que harán que la trayectoria seguida cambie. No debería haber ninguna penalización por no hacerlo totalmente bien al primer intento. La tarea más importante es empezar ahora el viaje. Los primeros pasos consisten en generar un diálogo amplio a todos los niveles de la sociedad y alcanzar un consenso sobre la necesidad de actuar. Muy probablemente, en lo que respecta a la respuesta ante el cambio climático provocado por el ser humano, la “única acción inexcusable es no adoptar ninguna en absoluto”<sup>101</sup>.

Esta síntesis, basada en los debates y las conclusiones del Congreso Científico Internacional de la IARU, *Cambio climático: Riesgos, retos y decisiones globales* resume las informaciones más actualizadas sobre el cambio climático procedentes de la comunidad investigadora - científicos naturales, científicos sociales, economistas, ingenieros y expertos del área de Humanidades. Las pruebas que demuestran que las actividades humanas están cambiando las condiciones básicas de la vida en la Tierra son abrumadoras, y los retos que presentan dichos cambios son sobrecogedores. Retrasar las acciones que vayan a adoptarse solo aumentará los riesgos para las generaciones futuras. A pesar de que ninguna reunión puede por sí sola transformar nuestra sociedad en una que viva dentro de los límites del cambio climático, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, COP15, que se celebrará en diciembre de 2009, constituye una oportunidad única y oportuna para iniciar ese viaje transformador. Muchos esperan que si la sociedad consigue superar el reto del cambio climático, las generaciones futuras leerán en sus libros de historia que el viaje empezó en la COP15.



## Lista de tablas

- Tabla 1: Características de los escenarios de estabilización, p. 19  
 Tabla 2: Comparación de las tecnologías de conversión de la biomasa en energía, p. 28

## Lista de figuras

- Figura 1: Cambio en el nivel del mar desde 1970 hasta 2008, en relación con el nivel del mar en 1990, p. 8  
 Figura 2: El cambio en el contenido energético de distintos componentes del Sistema Terrestre para dos periodos: 1961-2003 y 1993-2003, p. 8  
 Figura 3: Cambios en la temperatura global del aire en superficie (suavizada a lo largo de 15 años) en relación con 1990, p. 9  
 Figura 4: Cambios en el contenido calorífico de los océanos desde 1951, p. 9  
 Figura 5: Las tendencias en las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto de invernadero (A) dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, en ppm (partes por millón) desde 1958 hasta la actualidad; (B) metano, CH<sub>4</sub>, en ppb (partes por mil millones) desde 1979 hasta la actualidad; y (C) óxido nítrico, N<sub>2</sub>O, en ppb (partes por mil millones) desde 1978 hasta la actualidad, p. 11  
 Figura 6: (A) Las cifras de ciclones tropicales en el Atlántico Norte para cada velocidad máxima del viento figuran en el eje horizontal. (B) Aumento proporcional por categoría de ciclón (huracán) procede de incrementos en las velocidades máximas del viento de 1, 3 y 5 m/s-1, p. 12  
 Figura 7: Mapa de los "puntos de inflexión" climáticos posibles, p. 14  
 Figura 8: Diagrama que muestra los impactos potenciales del cambio climático en el aumento de la temperatura promedio global, p. 16  
 Figura 9: Trayectorias de las emisiones relacionadas con la energía desde 2000 hasta 2100 para conseguir la estabilización de los gases de efecto de invernadero en la atmósfera con tres objetivos distintos, p. 20  
 Figura 10: Impactos proyectados del cambio climático sobre la producción agrícola en 2030, expresados como un cambio porcentual en relación con el rendimiento medio de 1998-2002, p. 23  
 Figura 11: Aspectos diversos de las emisiones humanas de carbono por país/región, en los que se destaca el llamado "problema de stocks y flujos", p. 24  
 Figura 12: Células fotovoltaicas a pequeña escala (sistema medio – 18 vatios), como se utilizan en Kenia, p. 24  
 Figura 13: Caída en el precio del módulo de células solares fotovoltaicas de lámina delgada a medida que aumenta la producción acumulada, p. 26  
 Figura 14: Modelos de emisiones por la deforestación con siete opciones de diseño REDD, por región, p. 27  
 Figura 15: Impactos de diferentes limitaciones para reducir el potencial de mitigación de los gases de efecto de invernadero desde su máximo biofísico teórico hasta el potencial alcanzable más bajo, p. 27  
 Figura 16: Representación visual de una gestión adaptativa activa, un enfoque iterativo construido en torno al desarrollo explícito, basado en la experimentación de opciones de gestión verosímiles, p. 28  
 Figura 17: Interacciones típicas en sistemas de gobernanza en varios niveles, p. 32  
 Figura 18: Grupos de modelos mentales compartidos, p. 34

## Lista de recuadros

- Recuadro 1: Cambios en el casquete glaciar de Groenlandia, p. 9  
 Recuadro 2: El ciclo global del carbono, p. 11  
 Recuadro 3: Efectos del cambio climático sobre la salud y el bienestar de las personas, p. 13  
 Recuadro 4: Recursos hídricos y cambio climático: Construyendo resiliencia para conseguir un futuro sostenible, p. 13  
 Recuadro 5: La acidificación del planeta Tierra, p. 15  
 Recuadro 6: Biodiversidad y cambio climático: Conclusiones de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, p. 15  
 Recuadro 7: Implicaciones del cambio climático para la seguridad, p. 17  
 Recuadro 8: Los costes de retrasar las acciones, p. 19  
 Recuadro 9: Herramientas económicas para afrontar el reto de la mitigación, p. 21  
 Recuadro 10: Financiación para la adaptación, p. 23  
 Recuadro 11: Las ventajas de descarbonizar la economía, p. 29  
 Recuadro 12: Cambio climático y áreas urbanas, p. 30  
 Recuadro 13: Culturas, valores y perspectivas mundiales como factores de las respuestas al cambio climático, p. 33  
 Recuadro 14: La importancia de un cambio de conducta, p. 33  
 Recuadro 15: ¿Hacia una gran transformación del uso del suelo?, p. 35

## Referencias

- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Rahmstorf, S., Cazenave, A., Church, J.A., Hansen, J.E., Keeling, R.F., Parker, D.E., and R.C.J. Somerville, 2007: Recent climate observations compared to projections. *Science* 316 (5825): 709-709.
- Domingues, C.M, Church, J.A., White, N.J., Gleckler, P.J, Wijffels, S.E., Barker, P.M. and J.R. Dunn, 2008: Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature* 453:1090-1094.
- Church, J.A, Domingues, C., White, N., Barker, P. and P. Gleckler, 2009: Changes in global upper-ocean heat content over the last half century and comparison with climate models, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6 (3): 032005, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/3>
- Steffen, K., and Huff, R., 2009: University of Colorado at Boulder, personal communication
- Mote, T.L., 2007: Greenland surface melt trends 1973 – 2007: Evidence of a large increase in 2007, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22507, doi: 10.1029/2007GL031976.
- Wouters, B., D. Chambers, and E. J. O. Schrama 2008: GRACE observes small-scale mass loss in Greenland, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20501, doi:10.1029/2008GL034816
- Plattner, G.-K., 2009: Long-term commitment of CO<sub>2</sub> emissions on the global carbon cycle and climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 042008, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/4>
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. and P. Friedlingstein, 2009: Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 1704-1709.
- Richter-Menge, J., Overland, M., Svoboda, J., Box, M.J.J.E., Loonen, A., Proshutinsky, V., Romanovsky, D., Russell, C.D., Sawatzky, M., Simpkins, R., Armstrong, I., Ashik, L.-S., Bai, D., Bromwich, J., Cappelen, E., Carmack, J., Comiso, B., Ebbinge, I., Frolov, J.C., Gascard, M., Itoh, G.J., Jia, R., Krishfield, F., McLaughlin, W., Meier, N., Mikkelsen, J., Morison, T., Mote, S., Nghiem, D., Perovich, I., Polyakov, J.D., Reist, B., Rudels, U., Schauer, A., Shiklomanov, K., Shimada, V., Sokolov, M., Steele, M.-L., Timmermans, J., Toole, B., Veenhuis, D., Walker, J., Walsh, M., Wang, A., Weidick, C. and Zöckler, 2008: Arctic Report Card 2008, Available online at: <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>
- Canadell, J.G., Le Quééré, C., Raupach, M.R., Field, C.R., Buitenhuis, E., Ciais, P., Conway, T.J., Gillett, N.P., Houghton, R.A. and G. Marland, 2007: Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 18866-18870.
- Tans, P. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Mauna Loa, NOAA/ESRL, Available online at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Hoffman, D.J. The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI) NOAA/ESRL. Available online at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>
- Dlugokencky, E.J., R.C. Myers, P.M. Lang, K.A. Masarie, A.M. Crotwell, K.W. Thoning, B.D. Hall, J.W. Elkins, and L.P. Steele, 2005: Conversion of NOAA atmospheric dry air CH<sub>4</sub> mole fractions to a gravimetrically-prepared standard scale, *J. Geophys. Res.*, 110, D18306, doi:10.1029/2005JD006035.
- IOP, 2009: Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions, Copenhagen 10.-12. March 2009. All sessions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. Available online at: <http://www.iop.org/EJ/volume/1755-1315/6>
- Caldeira, K., 2009: Ocean acidification: Humanity and the environment in geologic time, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6 (3): 462004, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/46>
- Raupach, M.R., Marland, G., Giais, P., Quééré, C.L., Candadell, J.G., Klepper, G. and C.B. Field, 2007: Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 10288-10293.
- Haywood, A., Bonham, S., Hill, D., Lunt D. and U. Salzmann, 2009: Lessons of the mid. Pliocene: Planet Earth's last interval of greater global warmth. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 072003, Available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/7>
- Council of the European Union, 2005: Presidency Conclusions – Brussels, 22/23 March 2005, European Commission, Brussels.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and K.S. White (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Meinshausen M., Meinshausen N., Hare W., Raper S.C.B., Frieler K., Knutti R., Frame D.J., Allen M.R., 2009 Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 degrees C. *Nature*, 458 (7242): 1158-U96
- Steffen, W., 2009: Climate Change 2009: Faster Change and More Serious Risks. Report to the Department of Climate Change, Australian Government, in press.
- Holland, G., 2009: Climate change and extreme weather. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 092007, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/9>
- Turley, C., Blackford, J., Widdicombe, S., Lowe, D., Nightingale, P.D. and A.P. Rees, A.P., 2006: Reviewing the impact of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on oceanic pH and the marine ecosystem. In: Schellnhuber, H.J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T. and Yohe, G (Eds), *Avoiding Dangerous Climate Change*, Cambridge University Press, 8, 65-70.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Lenton, T. M., Held, H., Kriegler E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., and Schellnhuber, H. J., 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (6): 1786-1793.
- Dahl-Jensen, D. (Lead), 2009: The Greenland Ice Sheet in a changing climate. Component 2 in SWIPA: An Arctic Council Project coordinated by AMAP – IASC – WCRP/CLIC – IPY.
- Hofmann, M. and H.J. Schellnhuber, 2009: Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 3017-3022
- Schellnhuber, H.-J. and H. Held, 2002: In: Briden J and T. Downing (eds), *Managing the Earth: The Eleventh Linacre Lectures*, Oxford University Press, Oxford, pp 5–34.
- Smith, J.B., Schneider, S.H., Oppenheimer, M., Yohe GW, Hare W, Mastrandrea, M.D., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., Magadza, C.H.D., Fussler, H.-M., Pittcock, A.B., Rahman, A., Suarez, A. and J.-P. van Ypersele, 2009: Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi/10.1073/pnas.0812355106. In press.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- NOAA, 2009: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, [online] available at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends> [accessed 04/06/2009], Earth Systems Research Laboratory.
- European Environment Agency, 2009: CSI 013 – Atmospheric greenhouse gas concentrations – Assessment published Mar 2009. Available online at: [http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view\\_content<http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view\\_content>](http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view_content<http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view_content>)
- Hare, B., and Meinshausen, M., 2006: How Much Warming are We Committed to and How Much can be Avoided? *Climatic Change* 75, 1-2:111-149.
- Meinshausen, M., Hare, B., Frieler, K., Nabel, J., Markmann, K., Schaeffer M. and J. Rogel, 2009: PRIMAP – Potsdam Real-Time Integrated Model for the probabilistic assessment of emission paths, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 052008, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/5>
- Allen, M., Frame, D., Frieler, K., Hare, W., Huntingford, C., Jones, C., Knutti, R., Lowe, J., Meinshausen, M., Meinshausen, N. and S. Raper, 2009: The exit strategy. *Nature Reports Climate Change* 3: 56-58
- Nordhaus W.D., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations>
- Stern, L. N., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations>





40. Spring, U.O., 2009: Social vulnerability and geopolitical conflicts due to socio-environmental migration in Mexico, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562005, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
41. Warner, K., 2009: Migration: Climate adaptation or failure to adapt? Findings from a global comparative field study, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562006, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
42. Gleditsch, N.P. and R Nordås., 2009: IPCC and the climate-conflict nexus, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562007, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
43. Scheffran, J., 2009: Climate-induced instabilities and conflicts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562010, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
44. Brauch, H.G., 2009: Climate change impacts on migration: Conflict and cooperation in the Mediterranean, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562004, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
45. Wright, S., 2009: Emerging military responses to climate change – the new technopolitics of exclusion, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562001, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
46. Wright, S., 2009: Climate Change & The New Techno-Politics of Border Exclusion & Zone Denial, presentation at Climate/Security, conference organised by Centre for Advanced Security Theory, Copenhagen, on March 9, 2009; [http://cast.ku.dk/events/cast\\_conferences/climatesecurity/wrightcopenhagenpaper/doc/](http://cast.ku.dk/events/cast_conferences/climatesecurity/wrightcopenhagenpaper/doc/)
47. Trombetta, J., 2009: The meaning and function of European discourses on climate security, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562009, available online at <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>
48. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
49. Ürges-Vorsatz, D., Koeppel, S. and S. Mirasgedis 2007: An appraisal of policy instruments for reducing buildings CO2 emissions. Building Research and Information 35(4): 458 – 477.
50. Expert Group on Energy Efficiency 2007. Jochem, E., Dadi, Z., Bashmakov, I., Chandler, W., Farinelli, U., Halpeth, M. K., Jollands, N., Kaiser, T., Laitner, J. S., Levine, M., Moisan, F., Moss, R., Park, H.-C., Platonova-Oquab, A., Schaeffer, R., Sathaye, J., Siegel, J., Ürges-Vorsatz, D., Usher, E., Yanjia, W. and E. Worrell: Realizing the Potential of Energy Efficiency: Targets, Policies, and Measures for G8 Countries. United Nations Foundation Expert Report. Washington, DC., United Nations Foundation: 72 pp. Available at [http://www.unfoundation.org/files/pdf/2007/Realizing\\_the\\_Potential\\_Energy\\_Efficiency\\_full.pdf](http://www.unfoundation.org/files/pdf/2007/Realizing_the_Potential_Energy_Efficiency_full.pdf)
51. Schaeffer, M., Kram, T., Meinshausen, M., van Vuuren, D.P. and W.L. Hare, 2008: Near-linear cost increase to reduce climate-change risk. Proceedings of the National Academy of Sciences 105: 20621-20626.
52. Van Vuuren, D.P., de Vries, B., Beusen, A. and P.S.C. Heuberger, 2008. Conditional probabilistic estimates of 21st century greenhouse gas emissions based on the storylines of the IPCC-SRES scenarios. Global Environmental Change 18: 635-654.
53. Biermann, F., 2009: Earth system governance. Outline of a research programme, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 482001, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/48>
54. Matthews, H.D. and K. Caldeira, 2008: Stabilizing Climate requires near-zero emissions. Geophysical Research Letters 35 (4): L04705
55. Nakicenovic, N., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
56. Knopf, B., Edenhofer, O., Barker, T., Baumstark, L., Kitous, L., Kypreos, S., Leimbach, M., Magne, B., Scricciu, S. and H. Turton, 2009: Low stabilization pathways: Economic and technical feasibility, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 272002, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/27>
57. Kammen, D., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
58. Knopf, B., Edenhofer, O., Barker, T., Bauer, N., Baumstark, L., Chateau, B., Criqui, P., Held, A., Isaac, M., Jakob, M., Jochem, E., Kitous, A., Kypreos, S., Leimbach, M., Magné, B., Mima, S., Schade, W., Scricciu, S., Turton, H. and D. van Vuuren, 2009: The economics of low stabilisation: implications for technological change and policy. In M. Hulme and H. Neufeldt (Eds) Making climate change work for us - ADAM synthesis book, Cambridge University Press, in press.
59. Meinshausen, M., 2006: What does a 2°C target mean for greenhouse gas concentrations? - A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates. In: Schellnhuber, J. S., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley T. M. L. and G. Yohe. Avoiding Dangerous Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.
60. Edenhofer, O., B. Knopf, M. Leimbach, N. Bauer (Eds), 2009: The Economics of Low Stabilization, The Energy Journal (Special Issue), forthcoming
61. Keith, D., 2009: Climate engineering as risk management, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 452002, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/45>
62. Liverman, D., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
63. Schellnhuber, J., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
64. Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. and R.L. Naylor, 2008: Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. Science 319 (5863): 607-610
65. ESSP Global Environmental Change and Food Systems project, 2009: Global Environmental Change and Food Systems [online], available at [www.gecafs.org](http://www.gecafs.org) [access date 04/06/2009]
66. UNDP, 2007: Human Development Report 2007/2008. Fighting Climate Change: Human solidarity in a divided world. United Nations, New York.
67. Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S.R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R.M., McMichael, A.J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R.T., Zakri, A.H., Shidong, Z., Ash, N.J., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M.J., Raudsepp-Hearne, C., Simons, H., Thonell, J. and M.B. Zurek, 2005: Millennium Ecosystem Assessment Synthesis report. Island Press, Washington DC.
68. Munasinghe, M. 2009: Sustainable Development in Practice: Sustainability Framework and Applications, Cambridge University Press, London, UK, Chap.5.
69. Kammen, D., 2009: Figure from plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>. Figure based on Duke and Kammen 1999; Nemet and Kammen 2007; historical data from Navigant (2007).
70. Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., and D.A. Wardle, 2001: Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. Science 294: 804-808
71. Busch, J., Strassburg, B., Cattaneo, A., Lubowski, R., Boltz, F., Ashton, R., Bruner, A., Creed, A., Obersteiner, M. and R. Rice, 2009: Collaborative modelling initiative on REDD economics, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 252019, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/25>
72. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H.H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, R.J., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenko, V., Schneider, U. and S. Towprayoon, 2007: Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment 118: 6-28
73. Shapouri, H., Duffield, J.A., and M.S. Graboski, 1995: Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol. Agricultural Economic Report, United States Department of Agriculture, Lincoln NE
74. Shapouri, H., Duffield, J.A., and M. Wang, 2002: The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. Agricultural Economic Report, United States Department of Agriculture, Lincoln NE
75. Ulgiati, S., 2001: A comprehensive energy and economic assessment of biofuels: when "green" is not enough. Critical Reviews in Plant Sciences 20 (1): 71.
76. McLaughlin, S.B., and M.E. Walsh, 1998: Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. Biomass and Bioenergy 14 (1): 317.
77. Kim, S., Dale, B.E. 2005: Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing bioethanol and biodiesel. Biomass and Bioenergy 29 (6): 426.
78. Venendaal, R., Jørgensen, U., and C.A. Foster, 1997: European Energy Crops: A synthesis. Biomass and Bioenergy 13 (3), 147.
79. Armstrong, A.P., Baro, J., Dartoy, J., Groves, A.P., Nikkonen, J., and D.J. Rickead, 2002: Energy and greenhouse gas balance of biofuels for europe - an update. CONCAWE, Brussels.
80. Björjesson, P. 2004: Energianalys av drivmedel från spannmål och vall. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
81. Berntsson, L. 2004: Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and smallscale production. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
82. Rosenberger, A., Kaul, H.P., Senn, T. and W. Aufhammer, 2001: Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity. Applied Energy 68 (1): 51.
83. Elsayed, M.A., Matthews, R., and N.D. Mortimer, 2003: Carbon and energy balances for a range of biofuels options, Hallam University, Sheffield.
84. Bentsen, N.S., and C. Felby, 2009: Energy, feed and land use balance of converting winter wheat to ethanol. Biofuels, bioproducts and biorefining, in review.
85. Olesen, J.E., 2009: Measures to promote both mitigation and adaptation to climate change in agriculture, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 242005, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/24>
86. Smith, M.S., 2009: CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, Australia (unpublished). Contact information: <http://www.csiro.au/people/Mark.Stafford-Smith.html>
87. Steffen, W., Burbidge, A., Hughes, L., Kitching, R., Lindenmayer, D., Musgrave, W., Stafford Smith, M. and P. Werner, 2009: Australia's Biodiversity and Climate Change. CSIRO Publishing, in press.
88. Ramankutty, N., Evan, A. T., Monfreda, C. and J. A. Foley, 2008: Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000, Global Biogeochem. Cycles, 22: GB1003
89. Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W. and M. Fischer-Kowalski, 2007: Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences 104 (31): 12942-12947.
90. Aquastat, 2009: Review of global agricultural water use per country, conclusions, [online] available at [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/index66.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index66.stm) [accessed on 04/06/2009]. Food and Agricultural Organisation of the United Nations
91. Kammen, D. M., 2006: The Rise of Renewable Energy, Scientific American (September): 82-91.
92. Fuller, M., Portis, S., and D.M. Kammen, 2009: Towards a low-carbon economy: municipal financing for energy efficiency and solar power, Environment, 51 (1): 22-32.
93. Daniell, K.A., Mdnez Costa, M.A., Ferrand, N., Vassileva, M., Aix, F., Coad, P. and I. S. Ribarova, 2009: Aiding multi-level decision-making processes for climate change mitigation and adaptation, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 392006, available online at <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/39>
94. Forstater, M., Oelschlaegel, J., Monaghan, P., Knight, A., Shah, M., Pedersen, B., Upchurch, L., and P. Bala-Miller, 2007: What assures Consumers on Climate Change?, Research report. Available online at: <http://www.accountability21.net/publications.aspx?id=1090>. AccountAbility, Beijing, Geneva, London, Sao Paolo and Washington DC
95. Butler, C. and N. Pidgeon, 2009: Climate Risk Perceptions and local experiences at the 2007 summer flooding: Opportunities or obstacles to change?, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 262008, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/26>
96. Read P., 2006: Carbon Cycle Management with Biotic Fixation and Long Term Sinks, In: Schellnhuber, H. J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T., and G. Yohe (Eds.). Avoiding Dangerous Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, p. 373-378
97. WBGU, 2009: Politikberatung zum Globalen Wandel, [online] available at <http://www.wbgu.de/> [accessed on 04/06/2009]
98. Müller, C., Bondeau, A., Lotze-Campen, H., Cramer, W., and W. Lucht, 2006: Comparative impact of climatic and nonclimatic factors on global terrestrial carbon and water cycles, Global Biogeochemical Cycles 20: GB4015, doi:10.1029/2006GB002742
99. Banaszak, J., Matczak, P. and A. Chorynski, 2009: The role of shared mental models for adaptation policies to climate change, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 392001, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/39>
100. Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and J. Foley, 2009: Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. Nature, in press.
101. Lynch, A., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>

Se accedió a todos los hipervinculos en junio de 2009





---

# COMITÉ DIRECTOR CIENTÍFICO

Professor Katherine Richardson (Presidencia),  
University of Copenhagen

Professor Ole Wæver,  
University of Copenhagen

Professor Inez Fung,  
University of California – Berkeley

Professor Daniel M. Kammen,  
University of California, Berkeley

Dr. F. Michael Saunders,  
National University of Singapore

Professor Akimasa Sumi,  
The University of Tokyo

Professor Kazuhiko Takeuchi,  
The University of Tokyo

Mr. Keisuke Hanaki,  
The University of Tokyo

Professor Will Steffen,  
Australian National University

Dr. Frank Jotzo,  
Australian National University

Professor Nina Buchmann,  
ETH Zürich

Professor Christoph Schär,  
ETH Zürich

Professor Daniel Esty,  
Yale University

Professor Diana Liverman,  
University of Oxford

Professor Lu,  
Peking University

Dr. Terry Barker,  
University of Cambridge

Professor Dr. Rik Leemans,  
Wageningen University (observador)

Professor Hans Joachim Schellnhuber,  
Director of the Potsdam Institute for Climate Impact Research and  
Visiting Professor at University of Oxford (observador)

# REVISORES

(por orden alfabético)

Professor Annela Anger,  
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research (4CMR), University of  
Cambridge

Professor Rob Bailis,  
Yale School of Forestry & Environmental Studies, Yale University

Professor Dennis Baldocchi,  
Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California,  
Berkeley

Professor C.T. Arthur Chen,  
Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-sen University, Taiwan

Professor Lynn Dicks,  
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research (4CMR), University of  
Cambridge

Professor John Harte,  
Department of Environmental Science, Policy & Management, University of California,  
Berkeley

Professor Kirsten Hastrup,  
Department of Anthropology, University of Copenhagen

Professor Andrew Hector,  
Institute of Environmental Sciences University of Zürich

Dr. Frank Jotzo,  
Climate Change Institute, Australian National University

Professor Eigil Kaas,  
Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

Professor Anne Larigauderie,  
Executive Director of Diversitas

Professor Katherine Law,  
IPSL Service, Aéronomie Boite 102, Université Pierre et Marie Curie

Professor Harold A. Mooney,  
Department of Biological Sciences, Stanford University

Professor Karsten Neuhoff,  
Faculty of Economics, University of Cambridge

Professor Anand Patwardhan,  
S J Mehta School of Management, Indian Institute of Technology, Powai, India

Professor Navin Ramankutty,  
Department of Geography & Earth System Science Program,  
McGill University

Professor Matthias Roth,  
Department of Geography, National University of Singapore

Professor Serban Scrieciu,  
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research (4CMR), University of  
Cambridge

Executive Director Sybil Seitzinger,  
The International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Secretariat

Professor Frank Sejersen,  
Department of Cross-Cultural and Regional Studies,  
University of Copenhagen

Dr. Mark Stafford Smith,  
CSIRO Sustainable Ecosystems & Desert Knowledge CRC, IHDP

Dr. Olga Solomina,  
Department of Glaciology, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences

Professor Liya Yu,  
Division of Environmental Science and Engineering,  
National University of Singapore

Professor Dr. Tong Zhu,  
College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University

El equipo de redacción quiere dar las gracias por su apoyo en la elaboración de este informe de síntesis a la Oficina del Cambio Climático de la Universidad de Copenhague, a la Dra. Dorthe Hedensted Lund, Dra. Katrine Hahn Kristensen, al profesor Ole John Nielsen, de la Universidad de Copenhague, y a la Sra. Veronika Huber, del Potsdam Institute for Climate Impact Research.