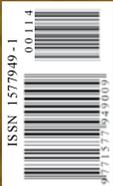


# ambienta



## Acuerdo de París: frenar el calentamiento global



n.º 114

Marzo

2016

3 €

# Trabajamos en proyectos como Red-ITAA

chil innova Inicio | Documentos | Eventos | Fotos | Noticias | Blogs | Prensa | Ayuda Iniciar Sesión

Red-ITAA European Network of Innovation and Technology in the Agricultural and Food Sectors

HOME  
THE PROJECT  
PARTNERS  
ACTIVITIES  
RESULTS

Los miembros del proyecto

Unirme al Grupo

El objetivo general del proyecto es: El desarrollo de un portal de conocimiento para la Agroindustria en los tres países con la tecnología Web 2.0 y su uso como herramienta de apoyo a las organizaciones en este sector, con un enfoque de colaboración.

Mapa Satélite Aliviar

France  
Toulouse  
Marsel  
Andorra  
Zaragoza  
Barcelona  
Espana (Spain)  
Porto  
Portugal

SUDOE

RED-ITAA en imágenes

**Para que nuestro sistema agroalimentario  
y el medio ambiente sean más sostenibles:  
Todo es cuestión de conocimiento.**

**Conócelo en**

**<http://www.chil.org/innova/group/red-ita>**

**y piensa lo que puedes hacer con él.  
Verás que es mucho**

**ambienta****114 / Marzo 2016****Edita:**

Secretaría General Técnica  
Ministerio de Agricultura,  
Alimentación y Medio Ambiente

**Directora de la Revista:**

Maribel del Álamo Gómez

**Portada:**

Álvaro López

**Redacción:**

Plaza de San Juan de la Cruz, s/n.  
28071 Madrid  
Tel.: 91 597 67 96

**Consejo Asesor:**

Presidente:  
Secretario General Técnico

**Vocales:**

Maribel del Álamo Gómez  
Rubén García Nuevo  
Antonio Gómez Sal  
Esteban Hernández Bermejo  
Carlos Hernández Díaz Ambrona  
Fernando López Ramón  
Eduardo Martínez de Pisón  
Ángel Menéndez Rexach  
Ana Julia de Miguel Cabrera  
Eduardo Moyano Estrada



Depósito Legal: M-22694-2001

ISSN: 1577-9491

NIPO: 280-15-036-1

NIPO WEB: 280-15-035-6

Esta Publicación no se hace necesariamente solidaria con las opiniones expresadas en las colaboraciones firmadas. Esta revista se imprime en papel 100% reciclado.




---

**02** **Escriben en este número de Ambianta . . .**

---

**04** **Una movilización sin precedentes**  
**Isabel Garrote y Vera Estefanía**

---

**14** **El Acuerdo de París, un primer paso**  
**José Manuel Moreno**

---

**20** **El Acuerdo de París ¿Solución al cambio climático o el principio del fin del actual multilateralismo ambiental?**  
**Alejandro Lago**

---

**34** **Contra el cambio climático, un cambio de mente**  
**Antonio Ruiz de Elvira**

---

**44** **Sobre las bases científicas del cambio climático antropogénico**  
**Manuel de Castro**

---

**54** **La transición energética ya es imparable**  
**Mar Asunción**

---

**64** **Cambio climático y salud**  
**María Neira y Elena Villalobos**

---

**70** **AEMET como proveedor del Servicio de Vigilancia y Predicción del Clima**  
**Fernando Belda**

---

**84** **Implicaciones del Acuerdo de París en los sectores relacionados con los usos de la tierra, cambios de uso de la tierra y silvicultura**  
**Agustín del Prado y María José Sanz**

---

**96** **Costes y beneficios de la adaptación al cambio climático en el sector del turismo de nieve en España**  
**Luis Campos *et al.***

---



**Mar Asunción Higuera**

Bióloga, Máster en Ordenación del Territorio y en *Coaching*. Inició su trayectoria profesional trabajando en Educación Ambiental en organizaciones privadas y en la Comunidad de Madrid, para pasar posteriormente a dirigir el Departamento de Educación Ambiental de WWF. Desde 2001 es la responsable del Programa de Clima y Energía de WWF España, haciendo el seguimiento de las cumbres climáticas internacionales y colaborando con actores sociales buscando sinergias para realizar la transición hacia un nuevo modelo energético y combatir el cambio climático. Es miembro de Consejo Nacional del Clima.



**Fernando Belda Esplugues**

Doctor en Ciencias Físicas (cum laude) por la Universitat de Valencia. Máster en Dirección Pública. Postgrado en Teledetección por la Universidad de Valencia. Es en la actualidad Director de la Dirección de Producción e Infraestructuras de AEMET. Madrid. Profesor de Universidad (Universitat de Valencia), durante varios periodos desde 1990 hasta la actualidad. Profesor de la Academia General del Aire, 2002-2004. Miembro del Consejo Rector del Centro Español de Metrología. Desde 2003 hasta 2008, miembro del grupo meteorológico del comité militar de la OTAN, y del grupo de trabajo de meteorología en el campo de batalla. Delegado de España en

la Conferencia sobre el Apoyo Meteorológico y Oceanográfico (ACOMETOC). Representante de España en el Comité de Arquitectura de Datos del Grupo de Observación de la Tierra (GEO). Delegado de España en los consejos ejecutivos de EUMETSAT, ECMWF y EUMETNET desde 2012. Miembro del OCC del FAB-SW.



**Manuel de Castro Muñoz de Lucas**

Es Catedrático de Física de la Tierra en la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente y Director del Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Castilla-La Mancha en Toledo. Su principal línea de investigación es el desarrollo y aplicación de modelos de simulación del clima a escala regional. Con un modelo desarrollado por su grupo se han simulado escenarios de cambio climático en Europa, África y América, colaborando con diversos centros e institutos internacionales de investigación del clima. Ha sido responsable de diversos proyectos de investigación europeos y nacionales, en su mayor parte relacionados con el modelado climático. Fue representante científico de España en el WCRP (Programa Mundial de Investigación sobre el Clima) entre 1999 y 2004, autor contribuyente en el Tercer Informe del IPCC (TAR) y autor líder en el Quinto Informe del IPCC (AR5).



**Vera Estefanía González**

Es Licenciada en Economía por la Universidad Autónoma de Madrid.

Máster en "Gestión Internacional de la Empresa" en el Centro de Estudios Económicos y Comerciales (CECO) de Madrid y becaria ICEX (Instituto de Comercio Exterior Español) en la Oficina Económica y Comercial de España en Londres (especialidad en macroeconomía). Desde el año 2005, trabaja como consultora externa en la Oficina Española de Cambio Climático especializada en las negociaciones internacionales en materia de cambio climático y, con anterioridad, trabajó en el Departamento de Análisis de Analistas Financieros Internacionales (AFI).



**Isabel Garrote**

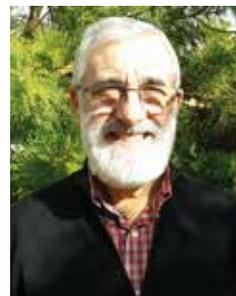
Es Licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Madrid. Máster en Gestión Medioambiental por el Instituto de Investigaciones Ecológicas y *The Open International University*. Técnico Especialista en Información Ecológica y Medioambiental por la Universidad Politécnica de Madrid. Desde el año 2001, trabaja como consultora externa en la Oficina Española de Cambio Climático y, con anterioridad, trabajó en el Centro Nacional de Educación Ambiental, ambos dependientes del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



**Alejandro Lago Candeira**

Nacido en Vigo en 1975. Doctor en Derecho por la Universidad Rey Juan Carlos. Investigador visitante del European Law Research Center

de la Universidad de Harvard (EE.UU.). Master of Laws (LL.M.) por la Universidad de Newcastle upon Tyne (Reino Unido) en derecho ambiental internacional. Licenciado en Derecho, especialidad jurídico empresarial, por la Universidad San Pablo- CEU de Madrid. Responsable de la Cátedra UNESCO de Territorio y Medio Ambiente de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) desde julio de 2006. En el año 2001 pone en marcha junto al Prof. Dr. D. Enrique Alonso García dicha Cátedra UNESCO colaborando en la impartición de clases sobre administración y legislación ambiental y en diversos proyectos de investigación. Desde la presidencia española de turno de la Unión Europea en el año 2002 es asesor legal y técnico de la Dirección General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente. Como asesor legal ha participado en el ámbito internacional de forma directa en el seguimiento del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) con especial énfasis en la negociación del Protocolo de Nagoya sobre acceso a recursos genéticos y reparto de beneficios derivados de su utilización (Nagoya, Japón, octubre 2010), habiendo sido uno de los negociadores de la UE bajo las presidencias española y belga de la UE (año 2010) y copresidente del grupo de negociación sobre cumplimiento.



**José Manuel Moreno Rodríguez**

Catedrático de Ecología y Director del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Castilla-La Mancha. Cursó estudios de Biología en la Universidad Complutense. Realizó su tesis doctoral en la Universidad Complutense, tras estudios de posgrado en la Universidad de Gotinga, Alemania. Estudios postdoctorales en San Diego, California. Ha sido Decano Comisario fundador de la Facultad de

Ciencias del Medio Ambiente, Universidad de Castilla-La Mancha. Trabaja en ecología de los incendios forestales y en la relación de estos con el cambio climático y global. Ha coordinado 4 proyectos europeos, y participado en otros diez, entre otros proyectos de I+D. Ha dirigido el informe nacional sobre la Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España. Ha formado parte del grupo de expertos encargado de redactar el informe *El Cambio Climático en España 2007* para el Presidente del Gobierno. Ha sido del Grupo Asesor del Consejo Europeo sobre Biodiversidad y Cambio Climático. Ha sido autor coordinador líder del 4º Informe de Evaluación del IPCC, y miembro del Grupo II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), en calidad de Vicepresidente del Grupo II, habiendo actuado como editor de revisión en tres ocasiones. Actualmente es miembro del Panel Asesor del Marco Regional para la Adaptación del Plan de Acción del Mediterráneo de Naciones Unidas.



### María Neira González

Licenciada en Medicina y Cirugía. Facultad de Oviedo (España). Especializada en Endocrinología y Enfermedades Metabólicas. Universidad René Descartes, París (Francia). Master en Salud Pública. Universidad Pierre y Marie Curie, París (Francia). Diploma Internacional en "Prevención de emergencias y gestión de crisis". Universidad de Ginebra (Suiza). Actualmente ocupa el cargo de Directora del Departamento de Salud pública y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la sede de esta organización en Ginebra. Anteriormente fue Presidenta de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria, con rango de Subsecretaria, en el Ministerio de Sanidad y

Consumo, en España. Durante 10 años, y previo al actual, ha desempeñado diversos puestos de responsabilidad en la OMS: Directora del Departamento de Prevención, Control y Erradicación de Enfermedades Infecciosas y Coordinadora del Grupo de Trabajo Mundial de la lucha contra el cólera y otras enfermedades epidémicas. Ha sido Coordinadora de Proyectos de Salud de la Cooperación Italiana en Mozambique y responsable del programa de salud de Naciones Unidas en Ruanda. Su carrera en la salud pública internacional la inicia como coordinador-médico de Médicos Sin Fronteras-Francia en distintos proyectos de asistencia humanitaria en campos de refugiados en la frontera entre Nicaragua y El Salvador.



### Agustín del Prado Santedoro

Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad del País Vasco. Actualmente profesor de investigación en el *Basque Centre For Climate Change* (BC3) habiendo sido antes investigador en el *Institute of Grassland and Environmental Research* (IGER) en Reino Unido (ahora *Rothamsted Research*). Impulsor, coordinador y presidente de la RED REMEDIA (Red científica de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores agrícolas, ganaderos y forestales en España). Experto, en el ámbito de la agricultura y ganadería, de cómo afectan dichos sectores en la emisión de gases de efecto invernadero, los ciclos biogeoquímicos y otros impactos medioambientales, y considerando la adaptación de estos sectores al cambio climático. Desarrollador de modelos de simulación matemática para el estudio de medidas de mitigación climática en sistemas ganaderos, praderas, cultivos y gestión de residuos orgánicos provenientes de la agricultura. Editor asociado de la revista *Grass and Forage Science* y autor de numerosas publica-

ciones científicas en el ámbito del medio ambiente agrario y el cambio climático.



### Antonio Ruiz de Elvira

Dr. en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense, Catedrático de Física Aplicada de la U. de Alcalá. Ha dirigido 10 proyectos de investigación, de los cuales 8 son europeos. Ha sido director del Departamento de Clima Marítimo de Puertos del Estado. Durante su etapa se pusieron en marcha los modelos operativos, aun hoy funcionando, de predicción de oleaje, mareas y corrientes, y se instaló una de las mejores redes de medida oceanográfica de Europa. Su especialidad es el clima y el cambio climático. Ha impartido unas 200 conferencias sobre este tema por toda España, y escrito unos 500 artículos de divulgación. Es autor del libro: "Quemando el Futuro: Clima y Cambio Climático", y editor del libro "Einstein: 100 años de relatividad" en el cual tradujo, por primera vez en España, directamente del alemán, los 5 artículos de Einstein que cambiaron la Física. Ha sido Presidente de Amigos de la Tierra/España.



### María José Sanz Sánchez

Directora científica del BC3, *Basque Centre for Climate Change* desde enero de 2016. Es doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad de Valencia (1991) y experta en diferentes áreas científicas como la ecofisiología, los efectos de la contaminación del aire, las

dinámicas y química atmosférica, los ciclos de nitrógeno y carbono, gases de efecto invernadero y otros gases relacionados, inventarios de gases de efecto invernadero, los usos de la tierra, cambios en el uso de la tierra y la silvicultura (LULUCF) y REDD+. La Dra. Sanz ha estado fuertemente implicada en la dimensión política del Cambio Climático, guiando las decisiones políticas llevadas a cabo en instituciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Tiene amplia experiencia en los procesos multilaterales, marcos regulatorios e instrumentos de política de cambio climático, y condujo a la implementación de diferentes programas (p.e. REDD+) con un enfoque multidisciplinar. Entre otros nombramientos, la Dra Sanz fue miembro de la Delegación española y Asesora del Ministerio de Medio Ambiente para las negociaciones sobre el cambio climático (2000-2007), y miembro de la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo limpio (*Clean Development Mechanism*- CDM en inglés), en representación de Europa en 2007.



### Elena Villalobos Prats

Responsable del apoyo técnico a países y formación del Equipo de Cambio Climático y Salud, Departamento de Salud Pública y Determinantes Medioambientales y Sociales de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Ginebra. Elena es licenciada en Derecho y tiene dos Máster, uno en Desarrollo Internacional y Ayuda Humanitaria, y otro en Género y Equidad. Empezó a trabajar en la OMS en 2009 y, antes de eso, estuvo trabajando en el terreno gestionando proyectos al desarrollo en Asia, América Central y Sudamérica.

# Una movilización sin precedentes

Isabel Garrote y Vera Estefanía

Oficina Española de Cambio Climático

Del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2015 se celebró en París la vigesimoprimera sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21). La Cumbre del Clima de París concluyó con la aprobación del **Acuerdo de París**, un acuerdo histórico de lucha contra el cambio climático, que resulta crucial para la promoción de un desarrollo bajo en emisiones, resiliente al clima y sostenible. Con la aprobación del Acuerdo de París, culmina el proceso de negociación, iniciado en 2011, que llevaba años en busca de un marco de acción en el que poder incluir a todos los países.

De esta manera, la importancia del Acuerdo de París se pone claramente de manifiesto al constatar cómo, por primera vez, se logra que todos los países aúnen sus esfuerzos alrededor de la lucha contra el cambio climático, en función de sus capacidades y circunstancias nacionales. Asimismo, conviene destacar los rasgos primordiales del Acuerdo alcanzado en París ya que se trata de un tratado universal, ambicioso, y dinámico que da una señal clara: los gobiernos se comprometen a iniciar un nuevo modelo de desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero.

## TRASCENDENCIA DEL ACUERDO DE PARÍS

¿Qué características hacen del Acuerdo de París un documento de vital importancia en el proce-

so de negociación internacional sobre cambio climático?

### Es un acuerdo ambicioso

El Acuerdo de París tiene como objetivo fundamental evitar que el incremento de la temperatura media global supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales y busca, además, promover esfuerzos adicionales que hagan posible que el calentamiento global no supere los 1,5°C.

Por tanto, el Acuerdo consagra la mayor ambición posible para reducir los riesgos y los impactos del cambio climático en todo el mundo. Además, incluye un mecanismo de revisión regular por el que los esfuerzos se irán actualizando cada cinco años, plazo en el que se deberá hacer balance del estado de situación y se deberá considerar la siguiente ronda de compromisos, que siempre tendrán que ser más ambiciosos que los actuales.

### Contempla la importancia de la adaptación

El Acuerdo pone en valor la importancia de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, estableciendo un objetivo mundial cualitativo de aumentar la capacidad de adaptación, en un contexto en el que todos los países se están enfrentando a los impactos derivados del incremento de la temperatura global. Además, fortalece el marco de cooperación global, de forma que los países en desarrollo



más vulnerables puedan afrontar mejor las pérdidas y daños asociados a estos impactos. De este modo, el Acuerdo de París reconoce las necesidades específicas que tienen los países más vulnerables a la hora de adaptarse a los impactos negativos del cambio climático, aspecto que vienen demandando desde hace años.

### **Financiación para la transición hacia modelos bajos en emisiones y resilientes al cambio climático**

El Acuerdo sienta las bases para una transformación hacia modelos de desarrollo bajos en emisiones. Para ello, se cuenta con un importante paquete financiero que ayudará a su implementación y que se construirá sobre la base del objetivo ya existente para los países desarrollados de movilización de 100 000 millones de dólares anuales, a partir de 2020, a través de distintas fuentes, objetivo que se revisará al alza antes de 2025.

Si bien el Acuerdo reconoce la importancia del liderazgo de los países desarrollados a la hora de movilizar recursos, por primera vez

se tienen en cuenta los esfuerzos voluntarios de los países en desarrollo a la hora de contribuir a dicho apoyo, lo que supone un importante avance, no solo a la hora de ampliar la base de donantes y, por tanto, de recursos para la lucha contra el cambio climático, sino que, además, conlleva el reflejo de un cambio en las realidades de los países y las relaciones internacionales a nivel global al reconocer los esfuerzos de muchos países en desarrollo que están aportando financiación climática de manera voluntaria.

### **Recoge los elementos para construir un marco que promueva modelos bajos en emisiones**

El Acuerdo refuerza el sistema actual de transparencia y rendición de cuentas de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para fortalecer la confianza entre los países sobre la base de un sistema de información claro, robusto y común. Este sistema permitirá hacer balance cada cinco años en el mecanismo de revisión y contar con información de las emisiones de todos los países.

Aspecto general del salón central de la COP 21 de París. Foto: UN Climate Change.

**El Acuerdo de París representa un punto de no retorno, histórico y sin precedentes en lo que se refiere a la movilización gubernamental. Así lo ponen de manifiesto los 189 planes de lucha contra el cambio climático que se han presentado hasta ahora y que cubren alrededor del 97% de las emisiones globales**

### **Representa una movilización sin precedentes**

El Acuerdo de París representa, además, un punto de no retorno, histórico y sin precedentes, en lo que se refiere a la movilización gubernamental. Así lo ponen de manifiesto los 189 planes de lucha contra el cambio climático<sup>1</sup> que se han presentado hasta ahora y que cubren alrededor del 97% de las emisiones globales.

Por otro lado, el Acuerdo de París ha sentado bases firmes para promover acciones no gubernamentales a gran escala a través de la Agenda de Acción Lima-París, que ha demostrado la gran movilización de ciudades, regiones, organizaciones no gubernamentales, sector privado y sociedad civil para hacer frente al cambio climático.

En respuesta al Acuerdo de París, alrededor de 700 ciudades, regiones, empresas e inversores de todo el mundo se han comprometido, a través del *L'Appel de París*<sup>2</sup>, o el *Paris Pledge for Action*, a ayudar a promover una implementación rápida y eficiente del Acuerdo de París, así como a acelerar los cambios adecuados para poner en marcha la transformación necesaria para hacer frente al cambio climático.

<sup>1</sup> <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>.

<sup>2</sup> <http://www.parispledgeforaction.org/>.

### **La Unión Europea como actor líder de la ambición**

La Unión Europea ha sido clave para el éxito de París al crear puentes entre las distintas posiciones de los países y liderar la Coalición de la Alta Ambición, en la que más de cien países de todos los continentes, tanto desarrollados como en desarrollo, se agruparon para conseguir un resultado lo más ambicioso posible en París.

Es necesario destacar el gran trabajo realizado por Francia como país anfitrión de la COP21, que se ha caracterizado por el respeto a los procedimientos de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la transparencia y la búsqueda de consenso para avanzar en las negociaciones. Su buen hacer ha sido uno de los factores del éxito de la Cumbre de París.

### **PRINCIPALES ELEMENTOS DEL ACUERDO DE PARÍS**

#### **A) Mitigación**

En el ámbito de la mitigación, el Acuerdo de París ha recogido expresamente tanto el objetivo de los 2°C como la importancia de realizar esfuerzos para conseguir reducciones ambiciosas que permitan limitar las emisiones preindustriales por debajo del 1,5°C.

Por otro lado, se contempla la necesidad de que las emisiones globales toquen techo lo antes posible, reconociendo que esta tarea llevará más tiempo para los países en desarrollo, y de que las emisiones se reduzcan de manera significativa, una vez se alcance este máximo.

En cuanto a las sendas a medio y largo plazo, se ha acordado la necesidad de conseguir un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero en la segunda mitad de siglo, es decir, se recoge la idea de llegar a la descarbonización de las economías.



En lo que atañe a los objetivos de reducción de emisiones, el Acuerdo de París recoge que, cada 5 años, todos los países deben comunicar y mantener sus contribuciones a la reducción de emisiones globales, así como la obligación de poner en marcha políticas y medidas nacionales para alcanzar dichas contribuciones. De igual modo, se reconoce la importancia de ir incrementando la ambición con sucesivos objetivos, que en todo caso serán más ambiciosos que los anteriores, y de contar con una información mínima y un sistema de contabilidad comunes para todos para garantizar la integridad ambiental.

El Acuerdo contempla la posibilidad de incrementar la ambición ya en el año 2020 puesto que los países que tienen compromisos a 2025 deberán presentar, en 2020, sus siguientes contribuciones a 2030 y, aquellos que tienen com-

promisos a 2030, deberán comunicar o revisar dichos compromisos también en 2020. De este modo se incluye un mecanismo temprano por el que, ya en 2020, se puede incrementar la ambición del Acuerdo, evitando así cerrar el nivel de ambición actual hasta 2030.

Por otro lado, se hace un reconocimiento al uso de los mecanismos de mercado para el cumplimiento de los objetivos, al tiempo que se establece un nuevo mecanismo de apoyo al desarrollo sostenible para promover la reducción de emisiones y, otro, genérico que se centra en promover acciones no basadas en mercado que abarcan ámbitos de mitigación y adaptación.

En el ámbito de los sumideros de carbono, el Acuerdo reconoce el marco ya existente para la mitigación en el sector forestal en los países en desarrollo, acordado en el marco de la

Inauguración de la COP.  
Foto: UN Climate Change.

Convención tras diez años de negociación. De este modo, se consigue que, a partir de 2020, se trabaje sobre la estructura ya en marcha garantizando la coherencia con el sistema actual y evitando la creación de nuevas estructuras adicionales.

## **B) Adaptación y pérdidas y daños**

En materia de adaptación, el Acuerdo de París establece un objetivo global que busca fortalecer la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Asimismo, el Acuerdo reconoce que la mitigación y la adaptación son dos caras de una misma moneda y que, a mayor reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, menores serán las necesidades de adaptación a los impactos del cambio climático.

Se reconoce también la importancia de afrontar la adaptación desde un enfoque participativo, estableciendo que la adaptación a los efectos del cambio climático debe definirse a nivel de país, de una forma transparente y valorando asuntos transversales como son las cuestiones de género, los grupos especialmente vulnerables, y las distintas comunidades y ecosistemas.

Se reconoce la importancia del apoyo y la cooperación internacional en materia de adaptación, en especial, para los países en desarrollo más vulnerables, y la obligación de que todos los países participen en procesos de planificación en materia de adaptación y en la implementación de acciones, entre ellas el desarrollo de planes y políticas. Asimismo, los países deberán presentar y actualizar, de manera periódica, comunicaciones sobre adaptación promoviendo así la información y la transparencia sobre los esfuerzos llevados a cabo por estos países en esta área.

Por último, cabe reseñar que el Acuerdo de París hace un reconocimiento a la importancia de evitar, minimizar y hacer frente a las pérdidas y daños asociados a los efectos adversos del cambio climático, incluidos los fenómenos extremos y graduales, así como al papel que jue-

ga el desarrollo sostenible en la reducción del riesgo de pérdidas y daños. El reconocimiento de esta cuestión era clave para los países más vulnerables a los efectos negativos del cambio climático, en especial las islas, que han visto como una de sus principales prioridades quedaba reflejada en el Acuerdo.

## **C) Tecnología**

El Acuerdo de París reconoce la importancia de la tecnología para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir emisiones de gases de efecto invernadero y mantiene el Mecanismo Tecnológico que ya existía, por lo que se puede afirmar que, no solo se reconoce el marco institucional preexistente, sino que se fortalece.

Por otro lado, el Acuerdo pone de manifiesto el papel fundamental de la innovación y, para ello, insiste en los enfoques de colaboración para la investigación y el desarrollo, en particular para las primeras etapas del ciclo de la tecnología, como son la investigación y el desarrollo tecnológico.

Y, de cara a promover acciones cooperativas en el desarrollo y transferencia de tecnologías, el Acuerdo reconoce la importancia de la financiación para promover el desarrollo tecnológico.

## **D) Fortalecimiento de capacidades**

Los importantes avances del Acuerdo de París suponen un reto importante a la hora de su implementación, en especial debido a las distintas capacidades de los países a la hora de poner en marcha todos los acuerdos alcanzados. Esta realidad ha quedado reflejada en el especial énfasis que hace el Acuerdo de París y las decisiones adoptadas en la COP21 en materia de capacitación, con la creación de nuevas instituciones, como el Comité para el Fortalecimiento de Capacidades, que incorpora un programa de trabajo para el periodo 2016-2020 cuya finalidad es detectar lagunas y necesidades en países en desarrollo en materia de fortalecimiento de capacidades.



Foto: UN Climate Change.

**El Acuerdo incluye un importante elemento innovador y con repercusiones a medio y largo plazo, al reconocer por vez primera los esfuerzos que muchos países en desarrollo están llevando a cabo de manera voluntaria a la hora de aportar recursos para hacer frente al cambio climático**

### **E) Financiación**

El paquete financiero de París fue una de las piedras angulares para el éxito de la Cumbre al igualar elementos importantes para todos los países.

Por una parte, si bien reconoce el liderazgo de los países desarrollados a la hora de movilizar recursos financieros, por primera vez anima a los países en desarrollo a que proporcionen financiación de manera voluntaria, incluye un importante elemento innovador y con repercusiones a medio y largo plazo, al reconocer por vez primera los esfuerzos que muchos países en desarrollo están llevando a cabo de manera voluntaria a la hora de aportar recursos para hacer frente al cambio climático.

Asimismo, se realiza un reconocimiento expreso de la importancia de la movilización de todo tipo de fuentes financieras, más allá de las públicas, así como de los esfuerzos globales para promover acciones que fortalezcan la provisión de apoyo, una de las principales demandas de la Unión Europea y aspecto clave para conseguir una movilización a gran escala de recursos para hacer frente al cambio climático.

Y, por otro lado, el Acuerdo plasma un incremento del apoyo financiero respecto a los esfuerzos llevados a cabo previamente al afirmar que, antes de 2025, se establecerá un nuevo ob-

jetivo colectivo cuantificado que será, como mínimo, de 100 000 millones de dólares anuales.

Además, se contempla un equilibrio entre la financiación dedicada a adaptación y la destinada a mitigación, al tiempo que se prima a las fuentes públicas para la adaptación.

El texto mantiene el actual Mecanismo Financiero de la Convención y sus fondos relacionados, que serán válidos para el Acuerdo de París, y establece obligaciones adicionales de información ex ante para los países desarrollados que tendrán que comunicar, cada dos años, sus proyecciones de financiación, construyendo así sobre la infraestructura ya existente.

### **F) Transparencia y rendición de cuentas**

El Acuerdo reconoce la necesidad de contar con un sistema de transparencia y rendición de cuentas común y ambicioso con el que garantizar la integridad del sistema y promover la confianza entre los países.

Por ello, el Acuerdo adoptado en París establece un marco de transparencia para todos los países que cubre la información sobre emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero y sobre el apoyo, tanto proporcionado como recibido, por todos los países, para garantizar un entendimiento claro de las acciones de cambio climático en el contexto de la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Se contempla la obligación de que todos los países presenten de manera regular inventarios nacionales e información adicional sobre el progreso hacia el cumplimiento de los objetivos adquiridos por los países.

Aunque sin carácter sancionador, se establece un proceso de revisión técnico de la información presentada por los países que realizarán equipos de revisores de cara a identificar áreas de mejora.

Por último, en este ámbito de actuación, se apoya una iniciativa de fomento de capaci-



dades para mejorar la transparencia, especialmente pensada para asistir a los países en desarrollo en la elaboración de la información requerida.

### G) Ciclo de revisión

Una de las principales novedades del Acuerdo de París es que incorpora un sistema de ambición o ciclo de revisión que establece que, cada cinco años (comenzando en 2023), es necesario hacer un balance del estado de la implementación del mismo respecto al objetivo de los 2°C, en todos sus aspectos (compromisos de reducción de emisiones, acciones de adaptación, y apoyo). Este ciclo permite que el Acuerdo de París sea lo suficientemente dinámico como para poder actualizar la ambición de sus distintos componentes de manera regular, per-

mitiendo así que sea un Acuerdo duradero en el tiempo y creando hitos regulares en el tiempo que permitan evaluar si los esfuerzos son adecuados o no.

### H) Cuestiones legales

Se crea un Comité destinado a facilitar la aplicación y promover el cumplimiento de todas las cláusulas previstas en el Acuerdo, por todas las Partes. Conviene destacar que dicho Comité tiene naturaleza facilitadora, no contenciosa ni punitiva.

Por otra parte, el Acuerdo de París establece un doble criterio para su entrada en vigor. Será necesario que ratifiquen el Acuerdo, al menos, 55 Partes que a su vez representen, al menos, el 55% de las emisiones globales totales.

Foto de Familia de la COP 21. Foto: UN Climate Change.



El presidente de los Estados Unidos, máximo foco de atención de la COP. Foto: UN Climate Change

El Secretario General de Naciones Unidas, Ban Ki-Moon, ha convocado a los líderes mundiales a la ceremonia de firma del Acuerdo, el 22 de abril en Nueva York.

Por último, cabe destacar que los compromisos de reducción de emisiones se recogerán en un registro público que será gestionado por el Secretariado de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

## AMBICIÓN PRE 2020

En paralelo a la negociación del Acuerdo de París, en la COP21, se ha adoptado una Decisión con la que se da continuidad al proceso de negociación, iniciado en el año 2011, por el cual se trata de identificar acciones adicionales con

Se contempla la obligación de que todos los países presenten de manera regular inventarios nacionales e información adicional sobre el progreso hacia el cumplimiento de los objetivos adquiridos por los países

las que incrementar las reducciones de gases de efecto invernadero de aquí a 2020.

De la Decisión sobre ambición pre 2020 adoptada en París se pueden destacar los siguientes aspectos:

- *Continuación del proceso para identificar opciones con elevado potencial de reducción de emisiones:* se continúa haciendo énfasis en la necesidad de asegurar la mayor ambición posible en materia de mitigación antes de 2020.

Para ello, se anima a los países a incrementar la ambición de sus compromisos y promover acciones tales como la cancelación voluntaria de unidades del Protocolo de Kioto, o el fortalecimiento del proceso actual por el que se están analizando opciones con elevado potencial de mitigación.

Asimismo, se acuerda la organización de eventos anuales de alto nivel, dirigidos por dos “Líderes” (responsables de alto nivel para encabezar esta iniciativa) que se encarguen de dirigir el proceso.

- *Invitación a los países desarrollados a aumentar su apoyo financiero antes de 2020:* para ello, se ha incluido una cláusula por la que se pide a los países desarrollados que establezcan



una hoja de ruta para conseguir alcanzar el objetivo de movilización de 100 000 dólares anuales a partir de 2020.

- *Organización de un diálogo facilitativo en 2016:* para evaluar la implementación de las decisiones ya tomadas en el ámbito pre 2020, en especial sobre financiación, con el objetivo de identificar oportunidades para aumentar este apoyo.
- *Establecimiento de un proceso técnico de expertos para la adaptación:* la Decisión aprobada en París replica el actual proceso técnico de expertos centrado en la mitigación pero dirigido a las acciones en materia de adaptación, con el objetivo de identificar oportunidades concretas para fortalecer la resiliencia, reducir la vulnerabilidad, y aumentar el conocimiento y la implementación de acciones de adaptación.
- *Reconocimiento del papel de los agentes no gubernamentales:* la Decisión adoptada en la COP 21 reconoce los resultados de la Agenda de Acción Lima-París por la que se ha dado visibilidad y se han promovido

multitud de acciones cooperativas contra el cambio climático promovidas por actores no gubernamentales.

Optimismo tras alcanzar los acuerdos.  
Foto: UN Climate Change.

## CONCLUSIÓN

El Acuerdo de París, adoptado en la COP celebrada en la capital francesa, constituye un éxito de la comunidad internacional que da comienzo a una nueva etapa en la negociación internacional sobre cambio climático en el ámbito de la Convención Marco de Naciones Unidas.

El Acuerdo de París consigue, por primera vez, lanzar una señal clara y unánime hacia el exterior del compromiso de todos los países con la transición hacia un nuevo modelo de desarrollo económico, social y medioambiental. Todos los países con la adopción del Acuerdo han hecho propia la agenda de un desarrollo bajo en emisiones, y todos se comprometen a presentar y mantener sus compromisos en mitigación, adaptación y financiación, para provocar este cambio de modelo bajo en carbono que traerá desarrollo sostenible y la protección necesaria para nuestro planeta. ❁

# El Acuerdo de París, un primer paso

**José Manuel Moreno**

Catedrático de Ecología. Universidad de Castilla-La Mancha  
Exvicepresidente del Grupo II del IPCC. Toledo

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) se creó en la Cumbre de la Tierra de Naciones Unidas de Río de Janeiro, en 1992. Su objetivo principal era, y es:

*“... lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.”*

La Convención entró en vigor en 1994 y ha sido ratificada por 195 países. Desde la primera Conferencia de las Partes (CP), celebrada en Berlín en 1995, hasta la 21 CP reunida en París, en diciembre del año pasado, habrán transcurrido veinte años llenos de negociaciones y acuerdos, ninguno de los cuales ha servido hasta ahora para estabilizar las emisiones. De hecho, durante todo este tiempo las emisiones no han dejado de crecer, a pesar del primer acuerdo importante en 1997, el Protocolo de Kioto. Si en 1990, fecha de inicio del periodo de referencia para el Protocolo, las emisiones globales sumaban 33,9 GtCO<sub>2</sub>equiv. (Giga tonelada = 10<sup>9</sup> toneladas), a finales de 2012, final del primer periodo de cumplimiento del mismo, las emisiones globales habían aumentado un 40%. Todo ello a pesar de que los países que lo ratificaron dis-

minuyeron sus emisiones en un 16,8%, fundamentalmente debido a los esfuerzos de las economías centrales de Europa. Otros grandes emisores que no ratificaron el acuerdo, entre ellos EE.UU., el primer emisor cuando se adoptó, han seguido aumentando sus emisiones, si bien a ritmo más moderado. Entre los países en desarrollo que no estaban comprometidos por el Protocolo, y que más han aumentado sus emisiones, destaca China, que durante este periodo pasó de emitir 3,2 a 10,7 GtCO<sub>2</sub>equiv., un 232% de incremento, convirtiéndose con ello en el principal emisor. Otros países emergentes han aumentado también sus emisiones de manera espectacular. Por señalar algún país próximo, y signatario del Protocolo de Kioto, Turquía pasó de emitir 0,140 a 0,380 GtCO<sub>2</sub>equiv. (un aumento del 163%), superando ya a España en un 23%. Esta senda de emisiones ha hecho que el aumento de la temperatura media de la superficie de la Tierra en 2015 superase 1°C, y que la concentración media de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se encuentre ya por encima de 400 partes por millón (ppm), 120 ppm más de lo que teníamos cuando se inventó la máquina de vapor a mediados del siglo XVIII, y casi 50 más que el año inicial de referencia del Protocolo. Como se ve, el aumento es creciente, y tiene sus consecuencias sobre el calentamiento, además de impactos que ya hemos detectado a lo largo y ancho del planeta.



## DE EMISIONES A TEMPERATURA GLOBAL COMO OBJETIVO DE LA NEGOCIACIÓN

El objetivo último de la Convención es conseguir estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar un calentamiento peligroso. Consecuente con ello, las primeras negociaciones, que luego se plasmarían en el Protocolo de Kioto, se centran en el control de las mismas. Está claro que reduciendo las emisiones se conseguirá detener el calentamiento. No obstante, la pregunta que ha estado siempre en el aire es, ¿qué calentamiento consideramos peligroso? Una vez que lo establezcamos, posteriormente podríamos calcular las emisiones permisibles para no excederlo. Contestar a esta pregunta no es sencillo pues, en el fondo, su respuesta no es científica: lo que es peligroso para unos, seguro que no lo es para otros. No obstante, la carta fundacional de la CMNUCC hace unas precisiones que son importantes a la hora de delimitar lo que puede ser o no calentamiento peligroso:

*“...Ese nivel [de calentamiento] debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la*

*producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.”*

Desde finales de los años 1980 aparecen publicaciones científicas que intentaron precisar cuál sería ese nivel de calentamiento, siendo 2°C de incremento medio global de la temperatura en la superficie sobre el nivel preindustrial la cifra que emergió desde el principio con más apoyo, por más que voces autorizadas hayan seguido considerando cifras menores. Fijar un nivel de calentamiento como meta no es trivial, pues de ello se derivarán consecuencias, ya que los impactos del cambio climático ocurren a prácticamente todos los niveles de calentamiento. La peligrosidad de los impactos aumenta con la temperatura, y la probabilidad de causar impactos globales de cierta magnitud se hace tanto mayor cuanto más nos calentemos. Por otro lado, no todos los impactos son igualmente sensibles a un determinado calentamiento. Además, un aumento medio de temperatura global repercute de manera muy diferente en distintas regiones del globo. Por ejemplo, en la zona mediterránea, un incremento medio de 2°C en la temperatura media máxima diaria se obtiene con 1.4°C de aumento de la tem-

Durante todo este tiempo las emisiones no han dejado de crecer, a pesar del primer acuerdo importante en 1997, el Protocolo de Kioto. Foto: Álvaro López.

**El objetivo de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático es reducir las emisiones. Desde la primera Conferencia de las Partes, celebrada en Berlín en 1995, hasta la 21 CP reunida en París, en diciembre del año pasado, habrán transcurrido veinte años llenos de negociaciones y acuerdos, ninguno de los cuales ha servido hasta ahora para estabilizar las emisiones**

peratura media global. A mayor abundamiento, el grado de exposición o la vulnerabilidad, que junto con los peligros climáticos, son los factores que determinan los riesgos derivados del calentamiento, no son iguales para todos los países o áreas del planeta, o para todos los grupos sociales dentro de un mismo país, pues grupos vulnerables los hay en todos sitios.

La primera vez que se fija el límite de 2°C como calentamiento que no deberíamos sobrepasar, lo hace el Consejo de la Unión Europea en 2005. La CMNUCC hará suyo este límite en la 16 CP de Cancún, de 2010, si bien la cifra de 1,5°C siempre ha sido defendida por un numeroso grupo de países. Los distintos informes del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (conocido como IPCC por sus siglas en inglés), en particular el quinto y último de 2014, deja claro que los riesgos adicionales que se introducen sobre alguno de los llamados “motivos para la preocupación [por el calentamiento global]” comienzan a hacerse altos a partir de 2°C, si bien no son nulos en valores más bajos. En consonancia con ello, el Acuerdo de París establece como objetivo:

*“Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales.”*

Nótese que al hacer un nivel de calentamiento máximo el objetivo del Acuerdo, en París se da un giro radical a la negociación que se había llevado hasta entonces y cuyo exponente máximo,

como se ha dicho, fue el Protocolo de Kioto. Con ello se ha pasado de establecer objetivos centrados en emisiones, a otro en lo que se establece es el evitar un nivel de calentamiento. Establecido el nivel de calentamiento (máximo 2°C y a poder ser menos, incluso 1,5°C) que los países acuerdan que es peligroso, y por tanto a evitar, la pregunta que emerge es ¿cuánto van a ir reduciendo sus emisiones los diferentes países? ¿Hay un plan detallado en el tiempo que sea compatible con el logro dichos objetivos de calentamiento?

A diferencia de su predecesor Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París no establece metas específicas de reducción de gases de efecto invernadero por países y con un marco temporal dado para conseguir no sobrepasar el calentamiento fijado como objetivo. El Acuerdo de París se basa en compromisos nacionalmente establecidos por cada país (INDC, en la jerga de la Convención, siglas de *Intended Nationally Determined Contributions* – Contribuciones Previstas y Determinadas Nacionalmente), mediante los cuales todos y cada uno individualmente se comprometen a hacer lo que nacionalmente consideran posible para contribuir a lograr dicha meta. Se establece, además, que los compromisos de cada país deben revisarse cada cinco años, y estos deberán ser crecientes con cada revisión, si bien no hay requisito de cumplimiento de meta alguna para ningún país, salvo que la que se fije de manera autónoma. No obstante, el Acuerdo señala que a finales de este siglo el balance neto de emisiones debe ser nulo. En otras palabras, que no se podrá emitir más que lo que la naturaleza pueda absorber.



## ¿QUÉ SE NECESITA Y QUÉ HAN COMPROMETIDO LOS PAÍSES EN LA CUMBRE DE PARÍS?

Determinar cuánto podemos emitir para no sobrepasar un nivel de calentamiento no es sencillo. No obstante, en el último informe del IPCC se recogen diversos escenarios de estabilización de emisiones compatibles con la consecución de un objetivo de calentamiento, así como la probabilidad de conseguirlo. Sin ir más lejos, para no sobrepasar 2°C de calentamiento se calcula que las emisiones totales acumuladas no deberían exceder de unas 2900 GtCO<sub>2</sub>equiv. Hasta el año 2010, cuando se hicieron estos cálculos, se habían emitido un total de unas 1900 GtCO<sub>2</sub>equiv. En ese año, emitíamos anualmente algo menos de 50 GtCO<sub>2</sub>equiv. (48,1 para ser exactos). Por tanto, como se puede calcular fácilmente, al ritmo de emisiones de ese año, bastarían dos décadas para emitir las 1000 GtCO<sub>2</sub>equiv. que nos quedan. Aunque el cálculo exacto es más complejo que esto, esta simple aritmética nos da una buena idea del reto que tenemos antes nosotros. Las proyecciones que se hacen es que hacia mediados de siglo deberíamos haber reducido nuestras emisiones entre un 40 a un 70%, para no sobrepasar la meta de París de no calentarnos por encima de 2°C, y hacia finales de siglo las emisiones netas deberían ser nulas. Los diferentes escenarios analizados por el IPCC en

su V Informe indican también que lo más coste-efectivo es reducir cuanto antes lo más posible. Por el contrario, retrasar la reducción en el tiempo supondrá mayor coste, y nos llevaría al límite de lo que, al día de hoy, es técnicamente posible para reducir todo lo que sería necesario para mantenernos por debajo del nivel de calentamiento acordado.

Repasemos a continuación qué es lo que los países han comprometido hasta ahora en las INDC o Contribuciones Previstas y Determinadas Nacionalmente que los diferentes países han enviado con anterioridad a la cumbre de París. El análisis realizado por el propio Secretariado de la Convención arroja los siguientes resultados:

- La implantación de las medidas INDC de mitigación comunicadas por los países para los años 2025 y 2030, años de referencia para el futuro usados por la Convención, se estima que resulten en unas emisiones agregadas globales de 55,2 y 56,7 GtCO<sub>2</sub>equiv./año, respectivamente.
- La reducción resultante de las INDC será de 2,8 y 3,6 GtCO<sub>2</sub>equiv./año para 2025 y 2030, respectivamente, con respecto a la trayectoria calculada en ausencia de estas medidas de mitigación.

París hace una llamada particular también a esta necesidad, poniendo a disposición de los países menos favorecidos unos fondos importantes cuya materialización es necesaria para permitirles adaptarse a lo que está en camino. Foto: Álvaro López.

Las proyecciones que se hacen es que hacia mediados de siglo deberíamos haber reducido nuestras emisiones entre un 40 a un 70%, para no sobrepasar la meta de París de no calentarnos por encima de 2°C, y hacia finales de siglo las emisiones netas deberían ser nulas

- Puesto que en 1990 y 2010 las emisiones eran de 38,8 y 48,1 GtCO<sub>2</sub>equiv./año, respectivamente, en 2030 habremos incrementado las emisiones globales anuales en un 46% con respecto a 1990, y en un 18% con respecto a 2010. Esto es, la tendencia al alza de las emisiones continuará, a menor ritmo que en décadas recientes, pero continuará.
- La estimación de las emisiones agregadas globales anuales resultantes de las INDC no se encuentran dentro de los escenarios de menor coste para no sobrepasar 2°C, tanto en 2025 como en 2030.
- Las emisiones globales acumuladas desde 2011 se espera que alcancen 541,7 y 748,2 GtCO<sub>2</sub>equiv. en 2025 y 2030, respectivamente. Como se señaló más arriba, las emisiones acumuladas totales a partir de ese año que son compatibles con un nivel de probable (>66% de probabilidad) para un aumento de la temperatura de 2°C con respecto al nivel preindustrial son de unas 1000 GtCO<sub>2</sub>equiv. Consiguientemente, para el año 2030 habremos utilizado ya el 75% del presupuesto de emisiones disponible para conseguir dicho objetivo.

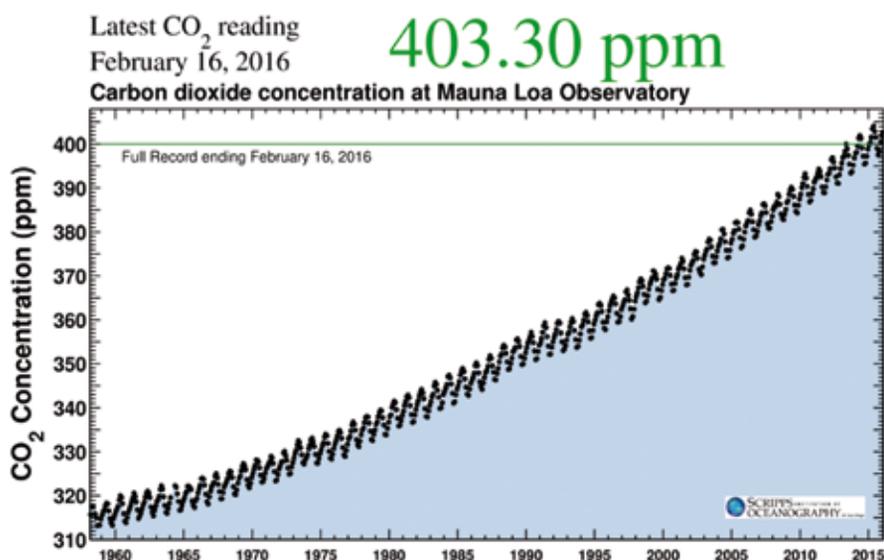
#### ¿QUÉ CALENTAMIENTO SUPONE EL COMPROMISO ASUMIDO POR LOS PAÍSES EN PARÍS?

Dado que la variación de las temperaturas depende de las emisiones acumuladas en el

tiempo, y puesto que el Acuerdo de París se basa en compromisos hasta 2030, para calcular el calentamiento futuro necesitaríamos saber qué pasará después de esa fecha. Esto es, si mantendrán los países el nivel de compromiso. Por otro lado, los INDC tienen que ser revisados cada cinco años, con lo que puede haber cambios de aquí a entonces que habría que considerar. Asumiendo que todos los países cumplen el objetivo comprometido de aquí a 2030, y que el nivel de compromiso se mantiene constante desde esa fecha en adelante, hasta finales de este siglo, la probabilidad de no exceder 1,5°C sería nula, la de no exceder 2°C es de menos del 10%, y la de no sobrepasar 3°C es menor del 60% (Fawcett *et al.* 2015 *Science* 350:1668-1669). En otras palabras, el Acuerdo de París no nos pone en una senda compatible con una probabilidad mayor del 50% de conseguir no calentarnos por encima de 2°C. Consiguientemente, el nivel de ambición comprometido por los países deberá ser revisado al alza, muy al alza, preferentemente de aquí a 2030, o posteriormente, pero sabiendo que cuanto más tiempo retrasemos un mayor nivel de reducción, mayor será la dificultad de conseguirlo, mayores los costes de hacerlo y mayores los impactos que no se habrán evitado.

#### OBSERVACIONES FINALES

Cambiar la dependencia de la economía de los combustibles fósiles no va a ser una tarea fácil, y no lo está siendo. Atrás quedó el Protocolo de Kioto, aunque aún sigue vigente, el primer intento de hacerlo estableciendo metas tasadas. Sus resultados han sido positivos, pues algunos países han dejado de emitir lo que se comprometieron, y toda emisión no realizada habrá contribuido a disminuir la magnitud del problema. Además, hemos aprendido muchas cosas. La más importante quizás sea que la aproximación a la solución del problema debe implicar a todos los países, sin excepción. Las responsabilidades deben ser diferenciadas, mayores siempre en el caso de los países más desarrollados, pero todos han de estar sentados



Concentración de CO<sub>2</sub> en el observatorio de referencia de Mauna Loa, Hawaii.

en la mesa de negociación. Eso lo ha conseguido el Acuerdo de París. Pero, siendo esto importante, no se puede obviar lo imperativo del poco tiempo que tenemos antes de quedarnos sin opciones para detener el calentamiento en un nivel gestionable, que evite los peores impactos. Ciertamente, algunos impactos ya han ocurrido y otros muchos están en marcha. Por otro lado, hay cambios que ya no son reversibles, pues el CO<sub>2</sub> emitido seguirá ejerciendo su efecto durante siglos, calentándonos y cambiando la acidez del océano. Raro es el día en que no aparece una publicación más alarmante que la anterior. Por tanto, es importante reducir mucho y ya las emisiones de gases de efecto invernadero, de manera que a finales de este siglo hayamos descarbonizado la economía. Las energías renovables son nuestro mejor aliado, y el estudio realizado por el IPCC muestra que hay suficientes fuentes para colmar nuestras necesidades.

El Acuerdo de París tiene la virtud de haber comprometido a todos los actores principales. A partir de ahora, y conforme se pongan en marcha los mecanismos del mismo, será más fácil saber qué hace cada uno y cuánto emite, tarea no sencilla al día de hoy. Disponer de un marco acordado facilitará que, llegado un momento, no necesitemos décadas para incrementar el nivel de mitigación cuando surja la

necesidad, como ha ocurrido hasta ahora, pues simplemente ese tiempo ya no está disponible. Dado que, si no hay cambios sustanciales en los compromisos de los países, las emisiones de aquí a 2030 tienen ya un horizonte claro, eso quiere decir también que el clima de las próximas décadas empieza a ser predecible, pues el rango de opciones se ha reducido. Consecuentemente, podemos decir que el clima va a cambiar y que los impactos del cambio en ciernes están esperándonos. Por tanto, corresponde pensar en los años futuros asumiendo el nuevo clima, e iniciar ya con ritmo incrementado los planes de adaptación. París hace una llamada particular también a esta necesidad, poniendo a disposición de los países menos favorecidos unos fondos importantes cuya materialización es necesaria para permitirles adaptarse a lo que está en camino.

En resumen, el Acuerdo de París es un primer paso en el que todos comenzamos a andar con una meta claramente establecida: no calentarnos más de 2°C y, a poder ser, menos. Los ritmos fijados no se corresponden aún con el viaje que hay que hacer, pero estamos en marcha. Esperemos que sepamos acomodar el ritmo inicial a las necesidades que, creo que inexorablemente, se irán poniendo de manifiesto conforme avancemos en este viaje de no retorno hacia una economía baja en carbono. ♣

# El Acuerdo de París. ¿Solución al cambio climático o el principio del fin del actual multilateralismo ambiental?

**Alejandro Lago Candeira**

Director Cátedra UNESCO de Territorio y Medio Ambiente. Universidad Rey Juan Carlos

El pasado 13 de diciembre de 2015, tras varias semanas de negociación y con un día extra sobre lo inicialmente previsto, concluía la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) con la adopción de 35 decisiones, entre las cuales destaca la decisión por la que se aprueba el Acuerdo de París. Este artículo realiza una primera valoración del Acuerdo de París, en particular si el mismo se reivindica como la solución definitiva para el mantenimiento del aumento de la temperatura en límites aceptables para la supervivencia del planeta (incluyendo en el pack a la especie humana) o si bien es un instrumento más en la búsqueda de una solución definitiva que verdaderamente acomode a todos, la cual está todavía por llegar.

Este análisis no pretende en modo alguno juzgar ni a los negociadores ni al proceso seguido, lleno de obstáculos y complejas trampas, sino los resultados obtenidos y si los mismos solucionarán o no los importantes retos a los que se enfrenta la humanidad en este campo. Igualmente no pretende en modo alguno transmitir el desánimo de que todo está mal, sino que, desde el análisis, el trabajo y la res-

ponsabilidad, pretende transmitir la acuciante necesidad de que estamos lejos todavía de la senda correcta y que alcanzar la misma requerirá de muchos esfuerzos por parte de todos para que las cuestiones ambientales, y en particular el cambio climático, tengan la gestión y las medidas que verdaderamente son necesarias.

## EL PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, LA CONVENCIÓN Y EL PROTOCOLO DE KIOTO

Las peculiaridades del cambio climático y de sus procesos negociadores los encontramos en sus propios orígenes, al menos desde el punto de vista institucional. Casi todos los convenios ambientales lo que hacen es definir un área de preocupación o interés común en la que los países consideran importante cooperar de forma más estrecha, para lo cual se crea una estructura permanente de negociación y de trabajo internacional en la materia en cuestión. Una parte crucial en la gestión y abordaje de los problemas ambientales es la información científica y técnica sobre la que poder tomar



las decisiones oportunas en las estructuras negociadoras creadas (normalmente la Conferencia de las Partes, como órgano supremo de representación y toma de decisiones). Por esto todos los convenios ambientales tienen uno o varios órganos subsidiarios de asesoramiento científico, técnico y tecnológico para llevar a cabo su función. Sin embargo, en el caso del cambio climático la estructura científica es la que precede a la estructura legal y política y la que, en gran medida, impulsa la propia negociación y adopción de la Convención. En el año 1988 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial crean el llamado Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, de sus siglas en inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*) “con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus

causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta”. El principal producto del IPCC es la producción de los informes periódicos de evaluación a nivel mundial sobre cambio climático (hasta la fecha ha publicado cinco informes periódicos en los años 1990, 1995, 2001, 2007 y 2013-2014).<sup>1</sup>

El primer informe de evaluación del IPCC fue, por tanto, uno de los detonantes de la negociación y adopción de la propia Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en mayo de 1992 (en adelante “la Convención”). La Convención entró en vigor en marzo de 1994 y cuenta en la actualidad con 196 Partes (195 países y la Unión Europea), lo cual la convierte en una Convención absolutamente universal en cuanto a la participación de países. El obje-

Foto: UN  
Climate  
Change.

<sup>1</sup> Detallada información sobre el IPCC, con acceso a sus informes periódicos, en la página web [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml).

Una importantísima limitación de los Convenios de Río, entre los que también se encuentra el de Cambio Climático, es que solo disponen del consenso para la toma de decisiones. Esto se debe a que los países no han alcanzado un acuerdo sobre posibles procedimientos de votación para cuando no sea posible alcanzar el consenso. En términos prácticos, el consenso como única forma de adopción de decisiones significa que la oposición formal y sustantiva de una sola Parte impide ya la adopción de la decisión

tivo de la Convención es lograr “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático” (art. 2). Como su propio nombre indica se trata de un marco de negociación en el que trabajar en materia de cambio climático, sin medidas ni objetivos concretos que obliguen a las Partes. La Convención reconoce, al igual que el resto de los Convenios de Río, el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, y para su aplicación sigue el esquema de diferenciación, a la hora de aplicar sus medidas, entre países en vías de desarrollo y países desarrollados.

Una importantísima limitación de los Convenios de Río, entre los que también se encuentra el de Cambio Climático, es que solo disponen del consenso para la toma de decisiones. Esto se debe a que los países no han alcanzado un acuerdo sobre posibles proce-

dimientos de votación para cuando no sea posible alcanzar el consenso. En términos prácticos, el consenso como única forma de adopción de decisiones significa que la oposición formal y sustantiva de una sola Parte impide ya la adopción de la decisión, lo cual en una Convención con 196 Partes supone la rebaja del punto de acuerdo, no ya al mínimo común denominador, sino al del interés de la Parte que menos está dispuesto a asumir o que cuyo interés pueda ser incluso el que no haya acuerdo. Esta es la verdadera tragedia del consenso universal como regla única de procedimiento de los Convenios de Río, que está reduciendo enormemente la protección ambiental en dichos instrumentos, al quedar ésta como rehén de los países que menor interés tienen en su protección.

El primer resultado tangible de la Convención fue la negociación y adopción en el año 1997, durante su 3ª Conferencia de las Partes, del Protocolo de Kioto, un instrumento con medidas y objetivos individuales concretos y jurídicamente vinculantes de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para los países incluidos en el Anexo I del Protocolo (países desarrollados y países con economías en transición). Además el Protocolo establecía los denominados mecanismos de flexibilidad para facilitar el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones: Aplicación Conjunta (art. 6); Mecanismo de Desarrollo Limpio (art. 12) y Comercio de Emisiones (art. 17). En el período entre 2000 y 2005 las distintas Conferencias de las Partes de la Convención se dedicaron a precisar las distintas normas y procedimientos necesarios para la aplicación de los elementos del Protocolo de Kioto para cuando el mismo entrase en vigor (en particular los Acuerdos de Marrakech de 2001).

La entrada en vigor del Protocolo de Kioto se complicó enormemente con la pronta comunicación por parte de Estados Unidos de su intención de no ratificarlo. Su principal argumento consistía en que Estados Unidos no estaba dispuesto a asumir unos objetivos



En la COP de París, los Estados Unidos sí accedieron al compromiso. Presidentes Obama y Hollande. Foto: UN Climate Change.

de reducción jurídicamente vinculantes (los previstos en el Protocolo de Kioto) mientras sus principales competidores e importantísimos contaminadores mundiales de gases de efecto invernadero (en particular China) no tenían obligación alguna de reducción de sus emisiones. El Protocolo exigía una doble condición para su entrada en vigor: ratificación de al menos 55 Partes de la Convención “cuyas emisiones totales representen por lo menos el 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono de las Partes del anexo I correspondiente a 1990”. Estados Unidos tenía en ese momento el 25% de las emisiones totales a nivel mundial, por lo que su no ratificación hacía necesario la ratificación de todos los demás países del Anexo I, casi sin excepción. Rusia, con un 17% de las emisiones totales, se convirtió en llave para la entrada en vigor del Protocolo, ratificación que vendió bastante cara a la Unión Europea. A pesar de todos estos importantes problemas el Protocolo de Kioto entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

El Protocolo de Kioto representó un importante paso adelante en la lucha contra el calenta-

miento global, ya que recogía el compromiso jurídicamente vinculante de los países desarrollados de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en, al menos, un 5,2% con respecto al nivel de 1990 durante el periodo 2008-2012. La Unión Europea asumió el porcentaje mayor (8%) para impulsar y liderar el acuerdo. La no participación de Estados Unidos con su argumento de que hasta que no estuvieran todos los países no estarían dispuestos a asumir compromisos jurídicamente vinculantes de reducción de sus emisiones, lastró enormemente el éxito del mismo y lo marcó como un instrumento fallido en el establecimiento de la senda de gestión del cambio climático a nivel internacional.

Una vez éste entró en vigor, en febrero de 2005, la Conferencia de las Partes de la Convención y la reunión de las Partes del Protocolo se dedicaron a su implementación, aprobando en primer lugar todos los detalles de sus mecanismos e instrumentos, pero también, a partir de 2006, a negociar un nuevo instrumento que diese continuidad a Kioto una vez concluyera su período de ejecución (diciembre de 2012).

**El Protocolo de Kioto representó un importante paso adelante en la lucha contra el calentamiento global, ya que recogía el compromiso jurídicamente vinculante de los países desarrollados de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en, al menos, un 5,2% con respecto al nivel de 1990 durante el período 2008-2012. La Unión Europea asumió el porcentaje mayor (8%) para impulsar y liderar el acuerdo. La no participación de Estados Unidos lastró enormemente el éxito del mismo y lo marcó como un instrumento fallido en el establecimiento de la senda de gestión del cambio climático a nivel internacional**

## LA NEGOCIACIÓN (Y LOS FRACASOS) DE UN PROTOCOLO POST-KIOTO<sup>2</sup>

En la segunda reunión de las Partes del Protocolo de Kioto en el año 2006 se pusieron sobre la mesa las “múltiples vías” para dar continuidad al Protocolo de Kioto a partir del año 2013. La primera opción era la continuista en la que se debían definir los nuevos compromisos de

<sup>2</sup> Para más detalle sobre lo acontecido en cada una de las Conferencias de las Partes de la Convención y de las reuniones de las Partes del Protocolo de Kioto que tuvieron lugar entre 2006 y 2015 puede verse el capítulo de Compromisos Internacionales Ambientales (Lozano Cutanda, B. y A. Lago Candeira) del *Observatorio de Políticas Ambientales* (López Ramón, E(coord.)), Editorial Thomson-Aranzadi (publicación anual disponibles a través de la página web [http://ecodes.org/component/option,com\\_phocadownload/Itemid,2/id,17/view,category/](http://ecodes.org/component/option,com_phocadownload/Itemid,2/id,17/view,category/)).

los países desarrollados para el nuevo período. Esta vía contaba con la importante limitación de que el mismo no resolvía el problema planteado por Estados Unidos y, por tanto, situaba dicho acuerdo con las mismas limitaciones que el Protocolo de Kioto (exclusión de Estados Unidos, así como de los países emergentes). La segunda opción planteaba acciones cooperativas a largo plazo para el tratamiento del cambio climático. Por otra parte, estaba la opción planteada por Rusia de establecer procedimientos para aprobar compromisos voluntarios de todas las Partes de la Convención. En este momento inicial de discusión esta última opción, que es la que finalmente parece haberse consolidado en el Acuerdo de París, se daba por descartada.

En el año 2006 también se aprobó el llamado Fondo de Adaptación (aunque el mismo se pondría en marcha de forma efectiva tras la reunión de las Partes del año 2008), lo cual reforzó la adaptación como el segundo pilar básico de medidas de lucha contra el Cambio Climático.

En el año 2007 se aprobó la “hoja de ruta de Bali” en la que se establecía el proceso negociador para la adopción de un nuevo instrumento jurídicamente vinculante que diera continuidad al Protocolo de Kioto, el cual debía aprobarse a finales de 2009. Con el seguimiento y la aplicación de dicha hoja de ruta se llegó a la Conferencia de las Partes de Copenhague de 2009. Sobre la mesa de negociación estaba la discusión sobre el establecimiento del objetivo de la reducción mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> en al menos un 50% en el año 2050 respecto a 1990, con la obligación de que los países marcaran sus objetivos intermedios. Las negociaciones pusieron de manifiesto una importante brecha entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo, que llevó en la fase final de la negociación a un intento de salvar el proceso mediante la negociación a puerta cerrada de un cierto número de países. Tras la misma Estados Unidos y China, secundados por otros 29 países, presentaron un principio de acuerdo, el cual no logró el consenso del plenario de la Conferencia de las Partes al ser rechazado por diferentes países, los cuales no



En lo que sí hay unanimidad es en las consecuencias de no frenar el calentamiento global. Foto: Vicente González.

se habían sentido representados en el proceso cerrado y poco transparente llevado a cabo. De esta forma Copenhague se convirtió en un importante fracaso y además las formas seguidas durante esta reunión produjeron importantes heridas entre las Partes de la Convención.

El no- Acuerdo de Copenhague introducía el objetivo de “reducir las emisiones globales de manera que se limite el aumento de la temperatura a menos de 2 °C” y reconocía que para ello “son necesarios fuertes recortes en las emisiones globales”, si bien no introducía, como en principio sí se esperaba, objetivos concretos de reducción para el año 2050. Las Partes del Anexo I (países desarrollados) se comprometían a incluir en una lista, antes del 31 de enero de 2010, sus compromisos de reducción individuales o conjuntos para 2020. Estos compromisos estarían supeditados a un “sistema internacional de análisis y consultas”, aunque el mismo no parecía asimilarse al sistema de verificación que sí tenía el Protocolo de Kioto por la oposición que dicho sistema generaba en distintos países. El papel de los sumideros, en particular a través de la eliminación de la deforestación y la degradación forestal también estaba presente y ganaba importancia en el acuerdo. Como novedad frente a Kioto las Partes que no formaban parte del Anexo I deberían igualmente adoptar medidas de mitigación, eso sí, de forma voluntaria y con el apoyo financiero para su ejecución y asumiendo que las Partes que recibieran dicha financiación sí que estarían sometidas al control y verificación posterior de sus medidas. El no-acuerdo también establecía acuerdos importantes en materia de financiación al anticipar las cifras globales que se adoptaron con posterioridad (30 000 millones de dólares para acciones inmediatas hasta el 2012 y 100 000 millones anuales para el año 2020) con referencia a la creación del Fondo Verde del Clima. Por último, el borrador de Acuerdo también disponía de la creación de un instrumento tecnológico para apoyar y acelerar el desarrollo y la transferencia de tecnología.

Aunque el malogrado acuerdo se envió a la siguiente Conferencia de las Partes para su ne-

gociación y adopción el proceso ya había quedado “tocado”, por lo que en Cancún en el año 2010 no se consiguió aprobar los denominados “Acuerdos de Cancún”, en este caso por la oposición de un solo país, Bolivia. En el Acuerdo de Cancún ya comienzan las “rebajas” sobre el principio de Acuerdo de Copenhague y, sobre todo, sobre los objetivos y obligaciones establecidas en el Protocolo de Kioto, puesto que los países no se comprometían a cumplir objetivos vinculantes para garantizar la reducción de sus emisiones.

En esta Conferencia de las Partes de Cancún de 2010 se activó el procedimiento para la prórroga del Protocolo de Kioto, ante el fracaso de alcanzar en tiempo un nuevo acuerdo y para evitar la discontinuidad de las acciones. Sin embargo, Japón, Canadá y Australia no apoyaron esta opción y propusieron la necesidad de tener un nuevo Protocolo que obligara también a las naciones emergentes y los países en vías de desarrollo. China, principal aludido, lanzó la propuesta de asumir unos objetivos de reducción de entre el 25 y el 40% para el año 2020 sobre los niveles de 1990, con reducciones voluntarias por parte de los países emergentes y en vías de desarrollo. Estados Unidos, también fuera de Kioto y por el momento sin objetivo alguno de reducción, vinculante o no, ofreció reducir sus emisiones un 4% para el año 2020. En este contexto a la baja, la Unión Europea aparecía como la única verdaderamente comprometida con el proceso a nivel internacional, con objetivos aprobados a nivel interno de la propia Unión de un 20% de reducción para el 2020 y con una cláusula de revisión de los mismos al alza en caso de que otros países desarrollados se comprometiesen a alcanzar reducciones de emisiones comparables.

En la Conferencia de las Partes de Durban de 2011, se constató el no acuerdo y la escasa fuerza que iba a tener la ampliación de Kioto a un segundo período entre 2013 y 2017 (o diciembre de 2020) ante, no solo la no incorporación de Estados Unidos, sino el abandono de algunos países del primer período (Japón, Canadá y Rusia). Todo ello reducía el ámbito de este



Los pueblos indígenas expusieron sus reivindicaciones. Foto: UN Climate Change.

segundo período a más o menos el 15% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, las que produce la Unión Europea. En esta reunión se constató el fracaso en la adopción de un nuevo acuerdo y se estableció una nueva hoja de ruta que marcaba 2015 como la fecha clave para aprobar un nuevo acuerdo internacional en materia de cambio climático, el cual debía estar plenamente operativo en 2020. Para ello se puso en marcha la “Plataforma de Acción mejorada de Durban” con el objetivo de alcanzar en 2015 un “protocolo, instrumento legal o un acuerdo con fuerza legal” de aplicación a todos los países y con niveles de reducción de emisiones más ambiciosos que los existentes, hasta llegar a los niveles que demanda la ciencia.

En la Conferencia de las Partes de Doha de 2012 se acordó la prórroga del Protocolo de Kioto para el período 2013-2020 (con un objetivo medio del 18% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero), prórroga testimonial o voluntaria porque es casi imposible que entre formalmente en vigor y por sus reducidos efectos sustantivos al no incorporar

nuevos países y perder otros significativos del primer período. No obstante, con esta prórroga se demuestra el compromiso decidido que están realizando una serie de países en materia de cambio climático, en particular la Unión Europea. En el desarrollo de la hoja de ruta de Durban, en esta reunión se puso como meta de la negociación el establecimiento de un objetivo mundial con el fin de obtener una reducción sustancial de las emisiones mundiales para 2050, recuperando un poco el espíritu y la ambición inicial de la negociación de Copenhague.

Los avances en la Conferencia de las Partes de 2013 celebrada en Varsovia fueron escasos o incluso negativos. En primer lugar se acordó el calendario de presentación de lo que en principio iban a ser los “compromisos” de las Partes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y que finalmente quedaron reflejadas como “contribuciones” nacionales, las cuales debían ser comunicadas por las Partes a más tardar en el primer trimestre de 2015 para su inclusión en el Acuerdo. De esta manera se aceptaba un nuevo enfoque de abajo

hacia arriba, en el que cada país presenta sus contribuciones de manera individual y unilateral. La presentación anticipada de estas contribuciones tiene como objetivo determinar si el conjunto global de la reducción de emisiones resultante de la suma de las contribuciones individuales resulta o no suficiente para alcanzar el objetivo de mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2 °C.

En la Conferencia de las Partes de 2014 en Lima se produjo un avance importante en la definición de las bases del Acuerdo de París. En primer lugar se consolidó el compromiso de alcanzar un acuerdo ambicioso en 2015 que reflejase “el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas según las respectivas capacidades, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales”. Este principio de acuerdo se vio reforzado por el llamamiento a llevar a cabo un mayor esfuerzo financiero por parte de los países desarrollados en materia de cambio climático. La decisión también definió los términos en los que se debían presentar las denominadas como “contribuciones determinadas a nivel nacional” en las que los países en vías de desarrollo también podían incluir sus medidas de adaptación para que sean computadas. En estas decisiones se pide a la Secretaría que diese publicidad en la web a las contribuciones determinadas a nivel nacional que le fueran comunicando las Partes.

En diciembre de 2015 tuvo lugar en París la Conferencia de las Partes de la Convención. Se alcanzaba la fecha límite con la duda de si la Conferencia de las Partes sería capaz de alcanzar un acuerdo. De conformidad con lo encargado en reuniones anteriores la secretaria del Convenio había creado un registro informal en la web en la que se recogían las contribuciones determinadas a nivel nacional que le habían ido comunicando las Partes. En base a ellas la secretaria produjo un informe de síntesis para cotejar en qué medida el efecto agregado de las contribuciones determinadas a nivel nacional comunicadas por las Partes servían para cumplir con el objetivo del mantenimiento de la temperatura media

por debajo de los 2 °C. El resultado de dicho informe es bastante significativo en cuanto a dónde nos encontramos, dado que con dichas contribuciones la proyección es de unas emisiones globales de 55 gigatoneladas de emisiones globales en el año 2030, es decir una desviación de 15 gigatoneladas de emisiones de gases de efecto sobre el nivel máximo estimado a nivel científico el cual se sitúa en torno a las 40 gigatoneladas.<sup>3</sup> La Conferencia de las Partes solicitó a la secretaria un nuevo informe actualizado a publicar en mayo de 2016, el cual sin duda alguna mostrará una desviación todavía mayor al incluir un número mayor de Partes que con anterioridad no habían transmitido todavía sus contribuciones determinadas a nivel nacional.

#### EL ACUERDO DE PARÍS<sup>4</sup>

Con la aprobación del Acuerdo de París se dio cumplimiento, al menos parcial o si se quiere formalmente, a la hoja de ruta establecida en 2011 en la Conferencia de las Partes de Durban, que había marcado el objetivo de alcanzar un acuerdo internacional en 2015 que involucrase a todos los países (incluidos Estados Unidos, China, India y Rusia), y que estableciera niveles de reducción de emisiones más ambiciosos que los existentes hasta la fecha, con el fin de alcanzar los límites que demanda la ciencia.

El Acuerdo de París consta de 29 artículos entre los que se recoge de forma explícita, por primera vez en un instrumento jurídicamente vinculante, el objetivo final de la Convención y del Acuerdo del mantenimiento del aumento de la temperatura “muy por debajo de los 2 °C” y “proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C”. Desafortunadamente, la consecución de este objetivo

<sup>3</sup> A este respecto véase el punto 17 de la Decisión por la que se aprueba el Acuerdo de París.

<sup>4</sup> Para un análisis más detallado del contenido de París y de la Decisión por la que se aprueba el mismo véase el capítulo de “Compromisos Internacionales Ambientales” (Lago Candeira, A.) del Observatorio de Políticas Ambientales 2016 (López Ramón, F(coord.), Editorial Thomson-Aranzadi.

no aparece vinculada a ningún marco temporal, aunque el que se maneja comúnmente en el ámbito científico sea el del año 2100. A este primer objetivo le acompañan los objetivos de “aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero” y “elevar las corrientes financieras a un nivel compatible” con los anteriores objetivos. En este sentido el Acuerdo no fija los compromisos financieros adquiridos, aunque la Decisión por la que se aprueba el Acuerdo sí que hace referencia y establece los mismos (mantener su actual objetivo colectivo cuantificado de 100 000 millones de dólares anuales a partir de 2020 hasta 2025, y de que antes de 2025 se establezca un nuevo objetivo que, conforme al Acuerdo, será como mínimo igual que el anterior).

El Acuerdo, tal y como se pedía en la hoja de ruta de Durban, incluye a todos los países, pero eso sí, partiendo del “principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales”, por lo que la diferenciación inicial de la Convención entre países desarrollados y en vías de desarrollo se mantiene (como no puede ser de otro modo al ser un Acuerdo parte o desarrollo de la Convención) y está por ver si la misma se modifica en términos prácticos durante la aplicación del Acuerdo.

En cuanto al segundo elemento que requería la hoja de ruta de Durban (la ambición) hay que destacar que el Acuerdo está lleno de ambición. En concreto este término aparece en 6 ocasiones en el texto del Acuerdo y en 10 más en la Decisión. Teniendo en cuenta que la principal medida de mitigación sobre la que descansa el Acuerdo es el de las “contribuciones determinadas a nivel nacional” y que el valor agregado de las comunicadas por las Partes hasta la fecha nos sitúan en 15 gigatoneladas por encima del valor máximo en el año 2030 (ni siquiera el aconsejable que desconocemos por el momento en donde se sitúa para limi-

**Con la aprobación del Acuerdo de París se dio cumplimiento, al menos parcial o si se quiere formalmente, a la hoja de ruta establecida en 2011 en la Conferencia de las Partes de Durban, que había marcado el objetivo de alcanzar un acuerdo internacional en 2015 que involucrase a todos los países (incluidos Estados Unidos, China, India y Rusia), y que estableciera niveles de reducción de emisiones más ambiciosos que los existentes hasta la fecha, con el fin de alcanzar los límites que demanda la ciencia**

tar el aumento en torno a los 1,5 °C)<sup>5</sup>, parece que ni el Acuerdo, ni las Partes están siendo por el momento ambiciosas. Un negociador del Acuerdo comentó que no era ambicioso sino que era una herramienta para construir a lo largo del tiempo dicha ambición. Esta visión y la muy mala situación de partida queda claramente reflejada en el propio Acuerdo al referirse éste a que “las Partes se proponen lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que los países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero, de conformidad con la mejor información científica disponible, para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la

<sup>5</sup> En este sentido la Decisión de la Conferencia de las Partes por la que se aprueba el Acuerdo de París solicita al IPCC a que presente en 2018 “un informe especial sobre los efectos que produciría un calentamiento global de 1,5 °C”.

Johan Rockström, autor de “Los límites del Planeta”, durante su intervención en la COP de París. Foto: UN Climate Change.



segunda mitad del siglo”. El Acuerdo confía así en que en la segunda mitad del siglo, mediante su propio proceso de aplicación, las medidas de las Partes sean cada vez más ambiciosas y que las Partes hagan en un futuro lo que no hacen actualmente en prácticamente ningún convenio ambiental: que adopten dichas medidas “de conformidad con la mejor información científica disponible”. Para llevar a cabo esta mejora progresiva, cada Parte está obligada a presentar cada cinco años una nueva contribución determinada a nivel nacional, la cual debe representar una progresión con respecto a su contribución vigente en ese momento.

Otras disposiciones del Acuerdo hacen referencia a los sumideros y reservorios de gases de efecto invernadero; a la adaptación, como un pilar fundamental del Acuerdo; a la transferencia de tecnología, manteniendo el mecanismo tecnológico de la Convención; al aumento de la capacidad y la sensibilización y participación del público así como el acceso a la información sobre el cambio climático.

El Acuerdo introduce el marco de transparencia reforzado para las medidas y el apoyo, con el fin de fomentar la confianza mutua y de promover su aplicación efectiva, como uno de los elementos clave de su funcionamiento. Conforme al mismo cada Parte tiene la obligación de proporcionar periódicamente una serie de información (inventario nacional de emisiones e información relacionada para hacer un seguimiento del progreso de la aplicación de las medidas; contribuciones financieras aportadas o

recibidas) que será sometida a un examen técnico por expertos, informe que considerará el apoyo prestado/recibido y la aplicación y cumplimiento de sus contribuciones determinadas a nivel nacional e incluirá áreas en las que la Parte puede mejorar. De esta forma el marco de transparencia pretende aumentar la claridad, facilitando el seguimiento de los progresos realizados por cada Parte, tanto en relación con el cumplimiento de sus contribuciones determinadas a nivel nacional, como del apoyo financiero agregado que se ha prestado.

Directamente conectado a este marco de transparencia está el llamado como “balance mundial” que será la evaluación periódica que realizará la reunión de las Partes del Acuerdo sobre la aplicación del mismo “para determinar el avance colectivo”, realizado “de manera global y facilitadora”, examinando los elementos claves del Acuerdo (mitigación, adaptación, medios de aplicación y el apoyo). El primer balance mundial se realizará en 2023 y posteriormente cada cinco años. El Acuerdo también prevé el establecimiento de un comité de cumplimiento, compuesto por expertos, como mecanismo para facilitar la aplicación y promover el cumplimiento del Acuerdo. El comité tendrá carácter facilitador, funcionará de manera transparente, no contenciosa y no punitiva.

El detalle de los procedimientos y normas de todos estos mecanismos tendrán que ser aprobados en la primera reunión de las Partes del Acuerdo, una vez que el mismo entre en vigor.

El Acuerdo para su entrada en vigor mantiene la doble condición de 55 Partes de la Convención que supongan al menos el 55% de las emisiones totales mundiales de gases de efecto invernadero. Al no establecer anexos en este caso no restringe esta última condición a las Partes del Anexo, sino al total mundial.

Además del Acuerdo de París es conveniente señalar, que en la Decisión por la que se aprueba el Acuerdo, la Conferencia de las Partes llama a la aplicación provisional del Acuerdo por las Partes y que éstas lo comuniquen a la secreta-

ría. La Decisión también establece los mecanismos y procedimientos para la preparación de la primera reunión de la Conferencia de las Partes del Acuerdo, en particular para la negociación de todo el detalle de los instrumentos que contiene el Acuerdo y que deben ser aprobados en su mayoría durante esa primera reunión de la Conferencia de las Partes del Acuerdo de París (a celebrar, presumiblemente, si el Acuerdo entra en vigor y todo va bien, en el año 2020).

### PRIMERA VALORACIÓN DEL ACUERDO DE PARÍS: ¿EL PRINCIPIO DE LA SOLUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO O EL PRINCIPIO DEL FIN DEL ACTUAL MULTILATERALISMO AMBIENTAL?

El Acuerdo de París establece por primera vez en un instrumento jurídicamente vinculante el objetivo explícito de “mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C” (art. 2). No obstante, lo refiere a un año base indeterminado (los niveles preindustriales, mientras que el Protocolo de Kioto establecía claramente el año 1990 como año base) y, además, no somete su consecución a un período o año concreto. La ambición de la mesa de negociación previa al fracaso de Copenhague se refería a una reducción del 50% de las emisiones para el año 2050, objetivo que ha desaparecido en este complejo proceso negociador.

Tras el fracaso de Copenhague se consideraba que se había perdido una década completa (2010-2020) a nivel internacional en materia de cambio climático, pero la adopción del Acuerdo de París parece certificar que se da por perdida, no ya la siguiente década (lo cual es seguro con las contribuciones determinadas a nivel nacional presentadas por las Partes), sino la primera mitad del siglo XXI.

El Acuerdo de París supone, como ha quedado de manifiesto en la descripción del proceso ne-

gociador que ha llevado a la adopción del mismo, el mínimo común denominador absoluto en materia de cambio climático: que cada uno haga lo que buenamente pueda (contribuciones determinadas a nivel nacional). Con el Acuerdo de París el multilateralismo ambiental sobre cambio climático parece haber tocado fondo.

El principal elemento aparente de quiebra del esquema seguido por el Protocolo de Kioto, la no participación de los países emergentes en el mismo, se ha resuelto en falso en el Acuerdo de París, puesto que sigue descansando en la diferenciación entre países desarrollados y en vías de desarrollo y no está muy claro que bajo el Acuerdo se pueda determinar el momento en que eso deba cambiar para algunos países, al menos para los emergentes. Esta limitada incorporación del resto de países se ha llevado a cabo a costa de eliminar cualquier objetivo cuantitativo agregado real (al no estar delimitado en el tiempo el objetivo general establecido en el Acuerdo) y menoscabando incluso los objetivos previos al no establecer siquiera un año determinado de referencia. La presión internacional (con toma de decisiones basadas exclusivamente en el consenso) o de la sociedad civil no parecen que puedan en los próximos años ser suficiente para reconducir la situación dentro del propio Acuerdo.

El *buenismo* ambiental no nos sacará de esta situación y no resolverá el problema del cambio climático, por lo que es una pena que la Unión Europea, en una materia en la que ha consolidado durante años su liderazgo a nivel mundial, no haya sabido (o querido) ejercer el mismo de una manera más estratégica y ambiciosa.

La Unión Europea debería asegurarse durante los años previos a la entrada en vigor del Acuerdo (período 2016-2020) que las reglas y los procedimientos de los distintos instrumentos previstos en el Acuerdo, serán plenamente funcionales y operativos y que le darán la seguridad de que le conducirán en términos prácticos a dónde dice querer ir el Acuerdo. Es decir, a una total responsabilidad de las Partes en el cumplimiento de sus contribuciones na-



Foto: UN Climate Change.

cionales y financieras y al establecimiento de contribuciones cada vez más objetivas, de conformidad con la mejor información científica disponible, que generen la necesaria base de reciprocidad, totalmente ausente del Acuerdo en el momento actual. De lo contrario, el Acuerdo se puede convertir en una verdadera trampa para la Unión Europea y para todos aquellos países con liderazgo en materia de lucha contra el cambio climático. En primer lugar porque una vez aprobadas por un número inicialmente manejable de Partes, la modificación o reforzamiento de las normas y procedimientos se irá haciendo cada vez más difícil, al ir aumentando el número de Partes y estar sometido el Acuerdo al consenso como única forma de adopción de decisiones. Al no tener el Acuerdo una fecha de caducidad determinada, su propia inercia hará muy difícil su modificación o que cualquier Parte pueda salirse del marco para establecer acuerdos alternativos (los instrumentos y acuerdos internacionales, una vez creados y puestos en marcha por su propia dinámica tienden a perpetuarse en el tiempo, no a desaparecer). La existencia del Acuerdo le impedirá tomar medidas fuera del mismo de tipo comercial si considera que las medidas adoptadas por

otras Partes bajo el Acuerdo le están perjudicando, como sí podría haber hecho, por ejemplo, en el caso del Protocolo de Kioto.

Es mucho lo que está en juego y por tanto la Unión Europea debería valorar con cuidado y de forma rigurosa si el Acuerdo y sus procedimientos serán capaces de llevarnos a todos al objetivo establecido en el Acuerdo de forma efectiva. Cualquier duda razonable de que el Acuerdo o sus procedimientos no nos acercan en este momento a la consecución de dicho objetivo debería ser base suficiente para que la Unión Europea lo abandonase y persiguiese un nuevo marco, el cual se corresponda con la ambición y liderazgo ejercido a nivel interno en la materia y que facilite la adopción de las medidas necesarias para la consecución de dicho objetivo.

En caso de que la Unión Europea considerase que no se van a dar las condiciones óptimas dentro del Acuerdo de París, tal vez sea el momento de pasar a un nuevo multilateralismo ambiental en el que la máxima sea menos (menor número de países con mayor interés) es más (para la protección del medio ambiente a nivel internacional). ❀

Las 1.000 caras  
de nuestra leche y productos lácteos



Por su sabor. Por su calidad. Por su variedad.

Toma 3 raciones  
al día.



inLac



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

# Contra el cambio climático, un cambio de mente

**Antonio Ruiz de Elvira**

Catedrático de Física Aplicada. UAH

En diciembre de 2015, los países del mundo llegaron en París a tres acuerdos, al menos formales, sobre el reconocimiento de la realidad del cambio climático, su origen antropogénico y las medidas para mitigarlo, al menos en una pequeña parte.

Los dos primeros merecen que los ciudadanos del mundo nos congratulemos. Tras 40 años desde que los científicos estamos comunicando a la sociedad estas realidades, es la primera vez que los gestores sociales de los países, los llamados “mandatarios”, aceptan algo de la realidad. Hasta entonces la habían negado, como el que niega que a las 12 del mediodía sea de día. Maravilloso, pero...

Pero el tercer acuerdo fue, sin embargo, decepcionante. La mitigación del cambio climático exige una substitución rápida y global de los combustibles fósiles como fuente de energía por energías solares, sostenibles, renovables. Esta substitución generará, como la revolución industrial cuyo origen fue Inglaterra en el siglo XVIII, una nueva etapa de riqueza y bienestar en el planeta, y sin embargo las fuerzas conservadoras la están impidiendo. Están impidiendo incluso unas medidas de mitigación acordadas que fueron escasas y no vinculantes, hasta tal punto que tres días después de la reunión de la COP Inglaterra autorizó nuevas centrales de carbón.

Voy a analizar en las próximas páginas estas afirmaciones que quizás a algunos parezcan un tanto exageradas.

## EL CLIMA DE LA TIERRA

La secuencia temporal de estados del tiempo atmosférico configura una entelequia llamada “clima”. No hay un “clima” en la Tierra, pero si secuencias, series temporales de las variables meteorológicas y oceánicas. Es esta secuencia, y sus análisis estadísticos lo que denominamos clima. El clima de la Tierra cambia a lo largo de los meses, años, siglos, milenios, millones de años y etapas geológicas. Ha habido etapas de estas en las cuales los hielos llegaban desde los polos hasta las líneas de los trópicos, y esto durante millones de años, y otras etapas en las cuales la Tierra estaba libre de hielo, incluso en el Polo Sur.

La etapa actual, con los continentes alineados, más o menos de sur a norte, abierto el estrecho de Drake y cerrado el Istmo de Panamá, dura solo desde hace tres millones de años y es una de las etapas frías del planeta.

La temperatura que nos permite decir si las etapas son “frías” o calientes es la TMG, la Temperatura Media Global, el promedio anual de las temperaturas registradas en todo el globo.

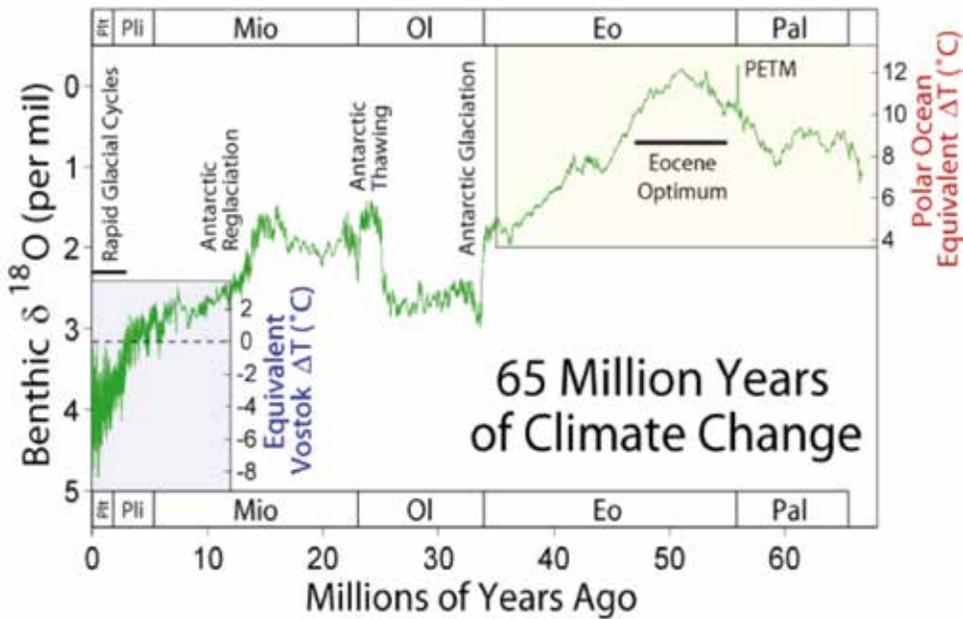


Figura 1. Evolución de equivalente de la TMG desde hace unos 60 millones de años. La fecha actual se encuentra en el eje horizontal a la izquierda.

Hace unos 30 millones de años se abrió el estrecho de Drake entre el sur del continente americano y la Antártida, y esa apertura aisló a esta última del resto del mundo, al establecerse una corriente de agua, la Corriente Circumpolar Antártica, que origina una pared de aire que impide el intercambio de energía entre el continente polar y el resto del Globo: la Antártida se heló, y cubierta de hielo, refleja una parte importante de la energía que llega del Sol a la Tierra: esto hizo que disminuyese la TMG.

El cierre del Istmo de Panamá originó la Circulación Termosalina, una corriente de agua que se inicia en el Caribe donde el agua se calienta como en un horno, se desplaza formando la Corriente del Golfo hasta entrar en el Mar del Norte, allí el agua muy salina de la misma se hunde entre Islandia y Groenlandia y circula por el fondo del océano hasta la Antártida, cuando gira hacia el Pacífico y aflora en la Polinesia. Desde allí, en un recorrido total de 500 años, vuelve por el Índico, Madagascar y la costa Africana hasta la latitud de Canarias, cuando cruza el Atlántico para recalentarse en el Caribe y reanudar su ciclo.

Esta corriente, con las variaciones de la intensidad solar debidas a los cambios orbitales del planeta, con escalas de 20 000 a 120 000 años,

la aleatoriedad de los sistemas fluidos no lineales que son la atmósfera y los mares, y la existencia de inmensos depósitos de gas natural (metano) en los taludes continentales, genera, desde hace algo más de un millón de años, etapas largas de glaciación, de unos 100 000 años de duración, y etapas cortas interglaciales, de unos 20 000 años. Nosotros estamos viviendo ahora en una etapa interglacial, cuyo máximo tuvo lugar hace unos 8000 años, y hasta el año 1800 de la Era Común (EC) la TMG de la Tierra estaba disminuyendo, con pequeños altibajos de alrededor de una décima de grado.

Ya a mediados del siglo XIX Eunice Newton Foote, una mujer pionera en el feminismo y la ciencia en los EEUU, y John Tyndall, dieron las primeras pistas sobre el calentamiento de la atmósfera producido por el  $\text{CO}_2$ , y este descubrimiento fue confirmado por el Premio Nobel Svante Arrhenius en 1896. La ciencia se interesó por el problema hasta 1914, pero la guerra y la postguerra hicieron olvidar el tema hasta al menos 1970 cuando se empezó a detectar la subida de temperaturas en las series temporales de temperatura de una mayoría de estaciones de registro repartidas por todo el mundo. Se vio que el aumento en la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera generaría un calentamiento anómalo que invertiría

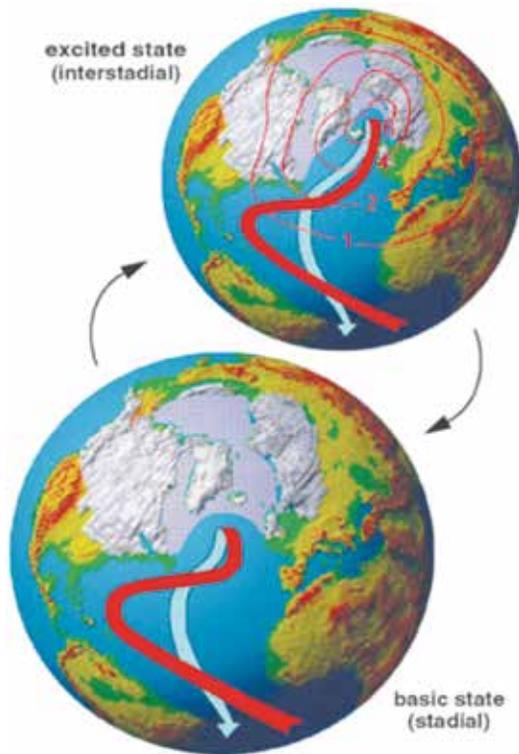


Figura 2. Corriente termohalina. Arriba, situación actual, con el Ártico abierto. Abajo, situación durante las glaciaciones, con el Ártico cerrado.

el enfriamiento histórico correspondiente a la etapa interglacial.

A ninguno de estos científicos se les hizo caso, como suele ocurrir en el divorcio entre la ciencia y los gestores sociales.

Como he mencionado, hacia 1970 las medidas de la red de estaciones meteorológicas de la Organización Meteorológica Mundial empezaron a indicar que la TMG estaba aumentando. En esas fechas, también, Keeling, en la Institución Scripps de Oceanografía de San Diego, empezó a medir sistemáticamente la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, y vio que subía, con los altibajos estacionales del crecimiento de las plantas, de forma constante. Se cumplían las predicciones de Newton Foote, Tyndall y Arrhenius.

Se ha comprobado hasta la extenuación que el aumento de la concentración de gases poliatómicos de más de dos átomos en la atmósfera hace

que aumente la TMG. La explicación es muy sencilla, aunque muchos no la quieren aceptar: los gases poliatómicos de más de dos átomos absorben radiación en el rango del infrarrojo cercano, que es la que irradia la Tierra a su temperatura actual. Al menos la mitad de esa radiación se devuelve a la superficie, y queda así atrapada entre esta superficie del planeta y la tropopausa de la atmósfera. Al perder menos energía en forma de infrarrojos, la superficie de la Tierra aumenta su TMG. No existe la menor duda empírica de que esto es así, ni tampoco teórica.

El ser humano, al emplear en unos 200 años la energía capturada por las plantas y los animales del plancton durante unos 30 millones de años hace 300 millones de éstos, está liberando a la atmósfera una cantidad inmensa de  $\text{CO}_2$ , y lo hace mucho más deprisa de lo que los océanos pueden capturarlo. Al mismo tiempo, al destruir los bosques elimina un elemento de absorción y almacenamiento de  $\text{CO}_2$ , y al irse deshelando la tundra se libera metano, cuyo potencial de calentamiento es 30 veces superior al del  $\text{CO}_2$ . ¿De quién es la responsabilidad del calentamiento?

En este momento somos los seres humanos los que estamos calentando el planeta. Siempre ha habido cambios climáticos, pero que sepamos, por la historia geológica de la Tierra, nunca ha cambiado tanto el clima en un intervalo tan corto.

El cambio climático de origen antropogénico es el cambio actual de la TMG y sus efectos derivados, causado por la quema de combustibles fósiles en un intervalo de tiempo del orden de 200 años.

## EL TIEMPO ATMOSFÉRICO

¿Importa algo el aumento de la TMG?

Toda la meteorología, el tiempo que disfrutamos o sufrimos, las sequías e inundaciones, los vientos y las calmas, dependen de las diferencias de temperatura en el globo terráqueo. En particular, el clima de la región extratropical,

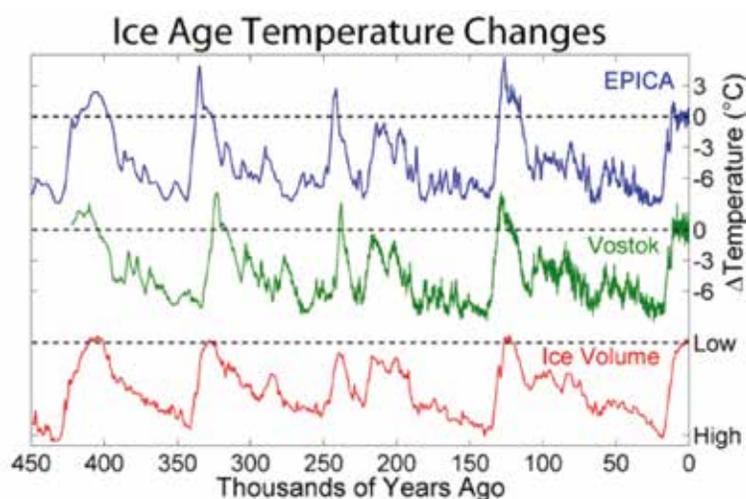


Figura 3. Secuencia de glaciaciones (mínimos de las curvas) y periodos interglaciales. En esta figura, la etapa actual está a la derecha.

en la que vive al menos media humanidad, depende de la diferencia de temperaturas entre el ecuador y los polos, y el clima tropical, en el que vive la otra mitad de los humanos, depende de los monzones, de las diferencias de temperatura entre los océanos y las tierras emergidas en sus proximidades.

La TMG es un promedio. Bajo la influencia de un aumento de concentración de gases poliatómicos de más de dos átomos (esencialmente  $\text{CO}_2$ ) las zonas ecuatoriales aumentan muy poco su temperatura, no más de un grado o grado y medio. La razón es sencilla, de nuevo: la zona ecuatorial es esencialmente agua, en los océanos, y en tierras empapadas en la misma. Más calor implica más evaporación de agua, sin subida de temperatura.

Sin embargo, en los polos, más energía implica aumento de temperatura hasta la fusión, y dado que el calor de fusión es del agua es de 330 J/g mientras que el de vaporización es de 2225 J/g, la temperatura de las zonas polares aumenta mucho, del orden de 8 a 10 grados.

De la misma manera, en las montañas, o mesetas que rodean los océanos tropicales, la temperatura sube mucho más, relativamente que en los océanos, por la misma razón de vaporización del agua. El resultado en ambos casos es que disminuyen las diferencias o gradientes de temperatura en el Globo.

Ahora bien, los fenómenos meteorológicos importantes son las lluvias, suaves o intensas, concentradas en unas horas o extendidas a todos las horas y días del año. Las lluvias se generan sobre los océanos cuando se evapora el agua, pero precipitan sobre tierra dependiendo de los vientos que arrastran ese vapor y el ascenso del vapor a partes altas de la atmósfera.

La trayectoria de los vientos depende de los gradientes de temperatura entre distintas regiones del planeta. Cuando disminuyen los gradientes cambia la trayectoria geográfica de los vientos, disminuye su intensidad y al disminuir su intensidad se producen grandes meandros que generan cambios muy bruscos de temperaturas, sequías muy largas intercaladas de grandes precipitaciones.

Sequías e inundaciones generan movimientos migratorios humanos importantes y enormes daños materiales.

De momento solo estamos experimentando los prolegómenos suaves de estos cambios meteorológicos, pero ya están empezando a no poder ser asegurados, ni siquiera repartiendo los costes entre todo el planeta.

Una decisión razonable es tratar de mitigar, de reducir el alcance del cambio climático: la TMG seguiría subiendo a lo largo de los próximos 100 años aunque redujésemos hoy mismo

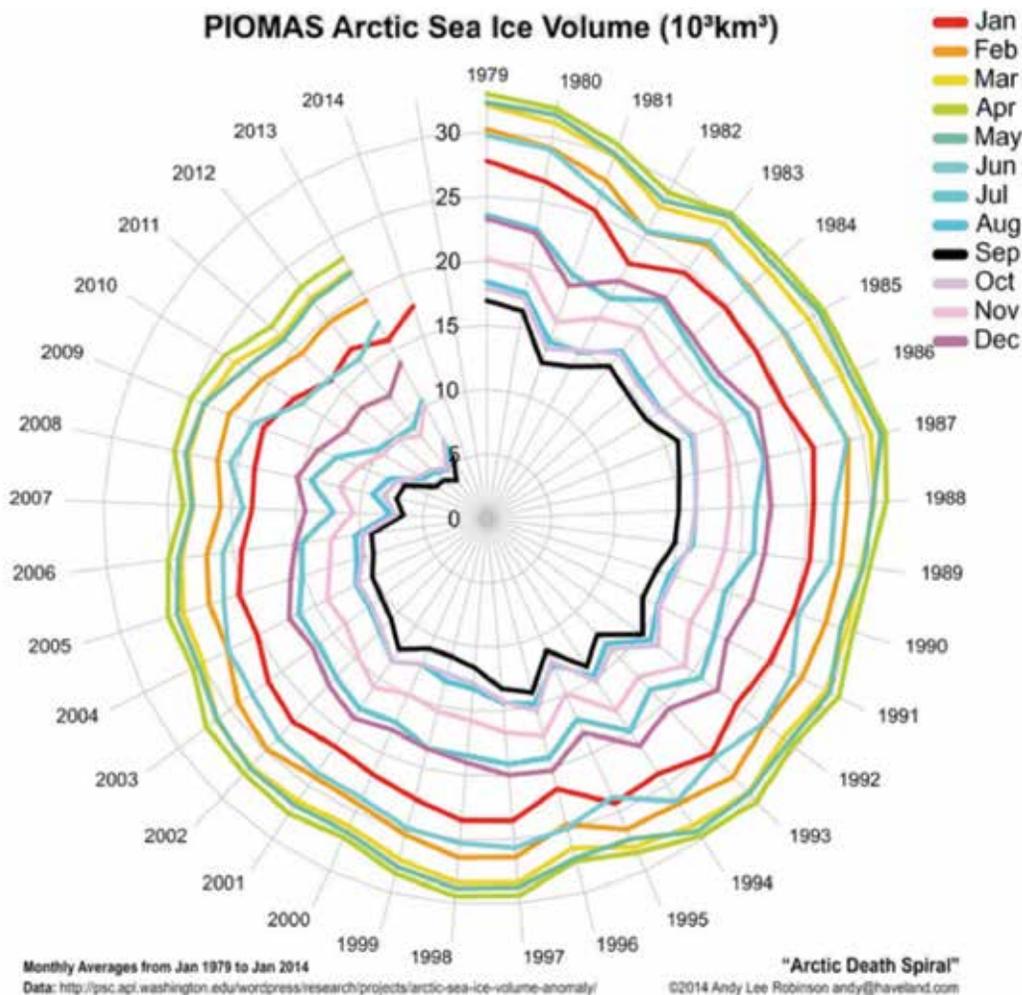


Figura 4. Disminución de la extensión del hielo ártico desde 1979 hasta 2014.

a cero las emisiones, una parte del daño está ya hecho. Pero el cambio climático esperado en esta circunstancia es aún llevadero: implica grandes costes materiales y humanos, pero no la desintegración de la civilización.

Ahora bien, un cambio climático en el cual la TMG aumente 3 grados sobre la TMG de hace 100 años implicaría esa desintegración, con la misma seguridad que teníamos los científicos hace 40 años sobre la realidad del cambio climático.

La Tierra seguiría funcionando, la vida se adaptaría como ha hecho siempre, al cambio, pero no lo haría el sistema cultural humano. Millones de personas sin agua suponen migraciones absolutamente disruptivas de los esquemas sociales, y la subida de decenas de metros del ni-

vel de mar tras el deslizamiento al mismo de los glaciares de Groenlandia implicaría la destrucción del sistema de vida de miles de millones de personas que habitan en las costas.

Es **imprescindible** frenar ya el cambio climático.

### MEDIDAS DE CONTROL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La única forma viable para controlar el cambio climático de origen antropogénico durante los próximos 100 años es substituir la obtención de energía para la humanidad mediante la quema de combustibles de energía solar fósil por la obtención de esa energía directamente del Sol. La energía solar fósil es la energía que recibe la

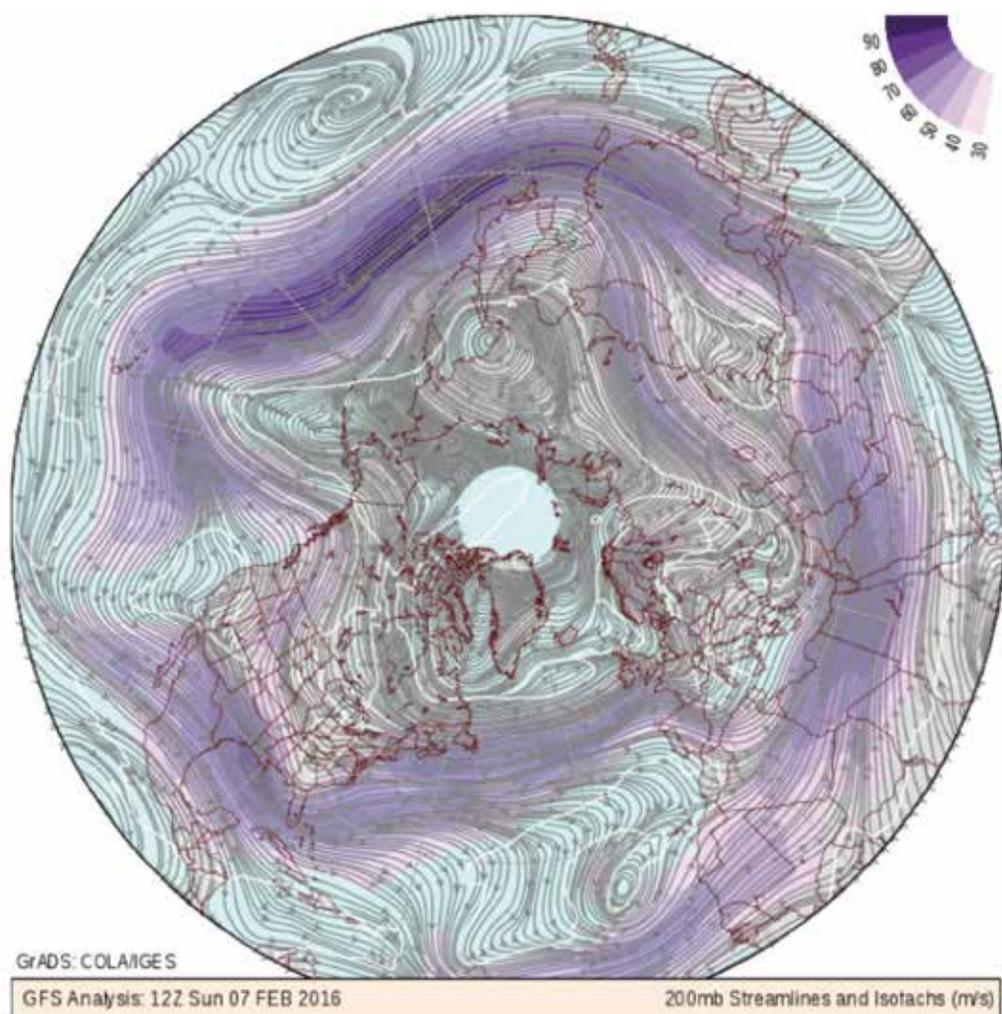


Figura 5. Trayectoria del chorro polar del día 7 de febrero de 2016. La trayectoria de este río de aire, sus meandros, intensos o suaves, genera las lluvias y sequías en las zonas templadas del planeta. Esta trayectoria y los meandros dependen del gradiente de temperaturas entre el Ecuador y el Polo Norte.

Tierra diariamente desde el Sol, capturada mediante la fotosíntesis y almacenada en los estratos geológicos hace cientos de millones de años.

Es una energía de un ERoEI (Energía Recuperada sobre la Energía Invertida para su recupe-

ración) gigantesca, del orden de 100 hace 50 años , y aún hoy del orden de 50. La energía de que ha dispuesto la sociedad humana durante toda su historia hasta 1800 era la energía solar obtenida por la fotosíntesis de las plantas. El ERoEI de la fotosíntesis es del orden de 1.1-1.5

La TMG seguiría subiendo a lo largo de los próximos 100 años y, aunque redujésemos hoy mismo a cero las emisiones, una parte del daño está ya hecho. Pero el cambio climático esperado en esta circunstancia es aún llevadero: implica grandes costes materiales y humanos, pero no la desintegración de la civilización. Ahora bien, un cambio climático en el cual la TMG aumente 3 grados sobre la TMG de hace 100 años implicaría esa desintegración

**La Tierra seguiría funcionando, la vida se adaptaría, como ha hecho siempre, al cambio, pero no lo haría el sistema cultural humano. Millones de personas sin agua suponen migraciones absolutamente disruptivas de los esquemas sociales, y la subida de decenas de metros del nivel de mar implicaría la destrucción del sistema de vida de miles de millones de personas que habitan en las costas**

(este último valor solo se dio en el Nilo en la antigüedad y en Bélgica hoy en día). Esto quiere decir beneficios entre el 10% y el 50% de la inversión.

Un EROEI de 50 significa beneficios del 5000%, algo inimaginable es cualquier negocio distinto de la extracción de energía solar fósil. Es evidente que una parte de la humanidad ha vivido en el paraíso con esos rendimientos. Sin embargo hoy los rendimientos ya no son posibles en esa magnitud, las reservas de energía fósil han empezado a disminuir (una de las razones de la crisis económica) y los costes (EI) de esta energía derivados del cambio climático no son soportables por la humanidad.

Necesitamos eliminar la energía solar fósil. Y hacer esto para cantidades enormes de energía y de forma segura. Estas dos ligaduras implican que no podemos utilizar la energía nuclear de fisión, y la energía nuclear de fusión es una utopía que siempre está, como el arco iris, algo mas lejos de lo que creemos y que no necesitamos, porque tenemos la energía solar contemporánea, la que recibimos hoy, cada día, procedente de las reacciones de fusión en el sol.

Sobre un metro cuadrado de superficie de la Tierra, entre las dos líneas tropicales, llegan más de 800 watios cada día. Digamos, para hacer cálculos, 0,8 kw por 6 horas cada día, es decir, 4,8 kwh/m<sup>2</sup> día. Entre los 20 y los 60 grados de latitud podemos contar con unos 1,8kwh/m<sup>2</sup> día.

El área de suelo entre los trópicos es de unos 60 millones de km<sup>2</sup>. Entre 20 y 60 grados de latitud podemos estimar unos 100 millones de km<sup>2</sup>. Si hacemos las multiplicaciones obtenemos alrededor de  $1,6 \times 10^{17}$  kwh/año. Con rendimientos del 25% (hoy estándar) podemos obtener  $4 \times 10^{16}$  kwh/año de electricidad, es decir unas 200 veces la energía que estamos gastando hoy en la Tierra. Esto quiere decir que con energía solar tenemos para  $60 \times 7000$  millones = 420 000 millones de personas con un gasto por persona similar al de los EEUU. Una magnitud inimaginable.

Tenemos, pues, energía de sobra procedente del Sol para cualquier sueño de riqueza humana. Y no solo esto. Tenemos ya la tecnología desarrollada para capturar esa energía y almacenarla. Las celdas fotovoltaicas, que son esencialmente arena de playa fundida, están produciendo hoy energía eléctrica al mismo precio que la energía de la red, pero la sociedad no termina de aceptar la necesidad de cambio, la facilidad con que podemos pasar a utilizar esta energía.

Hay dos actitudes ante el problema: la primera es la de una gestora social que en enero de este año de 2016 dijo públicamente que, dado que el parque de vehículos de Madrid era diesel en un 80%, no se podía hacer nada para reducir la contaminación en la ciudad. Es la actitud negativa de una gran parte de la sociedad, pública y privada.

La otra actitud, que uno esperaría de los gestores sociales, es: asumamos que tenemos un problema, vamos a ir resolviéndolo: vamos a estimular mediante los impuestos, por ejemplo, que de cada tres vehículos diesel que vayan al desguace, se reemplacen dos por otros de gasolina y uno por un coche híbrido o eléctrico.

Exactamente lo mismo es preciso hacer con la energía: en España tenemos una sobredimensión de la potencia instalada: utilizamos, en los días de máxima demanda, 35 Gw de potencia eléctrica. Tenemos instalados 105 Gw de esta potencia, de forma que cualquier día hay más de 70 Gw no utilizados. La política racional y razonable de cualquier gobierno es cerrar, de entrada, las centrales de carbón españolas, para siempre, y desmantelarlas. En segundo lugar, cerrar *sine die*, aunque sin desmantelarlas, las centrales de ciclo combinado. Estas centrales tienen potencias de entre 300 y 700 Mw. El cierre debe realizarse de manera que se instalen centrales solares térmicas (que almacenan la energía para la horas sin luz) a base de centrales de 500 Mw. Cada central de estas que empiece a verter energía a la red deberá reemplazar a una central de ciclo combinado.

Se debería mantener la potencia de 105 Gw, de forma que en el futuro los coches eléctricos pudiesen recargar todos sin problemas.

Por último, los gobiernos deben revertir la norma recientemente aprobada, y potenciar y estimular, vía impuestos, las energías fotovoltaicas individuales instaladas en los edificios de las ciudades y pueblos, con garantía de vertido a la red de la energía sobrante en cada caso.

## MEDIDAS ADICIONALES

Las medidas anteriores son necesarias, pues una parte substancial de la vida civilizada se basa en aparatos eléctricos, y cuando se impongan los vehículos eléctricos esta parte de la civilización deberá también obtener su energía del sol a través de las centrales fotovoltaicas, termosolares o eólicas.

Pero hay otra parte del consumo actual de energía que es esencialmente superfluo, y es una parte muy considerable. Es la parte del acondicionamiento térmico de los edificios. Este acondicionamiento implica calefacciones en los inviernos de las regiones por encima de las líneas de los trópicos, y refrigeración en verano en las regiones al sur y al norte de los paralelos 60°N y 60°S.

Ahora bien, estas necesidades se deben a un diseño erróneo de los edificios, reliquia de los modos de pensar de los siglos XIX y XX en los cuales se trataba de resolver los problemas humanos y sociales mediante el gasto sin límite de la energía.

Los edificios bien diseñados necesitan muy poca energía de calefacción en invierno, y casi ninguna de refrigeración en verano y estas energías deben ser proporcionadas por sistemas de captación solar.

Hoy día es posible aislar casi por completo los edificios respecto a la pérdida de calor por conducción y convección, tanto los edificios nuevos, como los antiguos mediante aislantes incorporados a planchas de Pladur colocadas en las paredes interiores de las fachadas. De la misma manera, es perfectamente posible aislar las ventanas a los intercambios de energía y sonido.

Respecto a las pérdidas o ganancias de calor por radiación, se ha desarrollado en la Universidad de Stanford un film reflectante de la radiación infrarroja, que puede colocarse en paredes y techos.

La refrigeración adicional que se precise, lo mismo que el agua caliente sanitaria, se consigue mediante sistemas de intercambio solar en los techos de los edificios, la primera utilizando sistemas de cambio de fase de ciertos compuestos inorgánicos de baja temperatura, lo segundo mediante intercambiadores de calor en paneles ennegrecidos y al vacío, siendo las necesidades de calentamiento disminuidas mediante sistemas de recuperación de calor de las aguas grises residuales.

## CAMBIOS MENTALES

De hecho, los esfuerzos contra el cambio climático exigen una revolución tecnológica similar a las que substituyeron la caza y recolección por la agricultura en el Paleolítico, y la fuerza animal por la potencia de los combustibles fósiles durante el siglo XIX. Pero las revoluciones tec-

Tenemos energía de sobra procedente del Sol para cualquier sueño de riqueza humana. Y no solo esto. Tenemos ya la tecnología desarrollada para capturar esa energía y almacenarla. Las celdas fotovoltaicas, que son esencialmente arena de playa fundida, están produciendo hoy energía eléctrica al mismo precio que la energía de la red, pero la sociedad no termina de aceptar la necesidad de cambio, la facilidad con que podemos pasar a utilizar esta energía

nológicas no han sido nunca un derivado de descubrimientos científicos o de ingeniería.

Para desarrollar cualquier revolución es imprescindible, primero, cambiar los esquemas mentales, la visión del mundo de las personas que componen una sociedad.

La revolución francesa fue posible por el cambio mental de la Ilustración, que eliminaba el contacto “divino” entre dioses y personas, el “derecho divino de los reyes”. Sin esa eliminación mental, intelectual, desarrollada durante la segunda mitad del siglo XVIII, a nadie se le hubiese ocurrido resolver el problema de la bancarrota de la corona francesa eliminando a los reyes.

Durante el Imperio romano se podían haber desarrollado toda clase de técnicas de ingeniería capaces de reducir el trabajo de las personas. Pero ante cualquier propuesta de esto, la respuesta era siempre: “si ya hay esclavos ¿para qué molestarse en utilizar máquinas?”

Esta misma respuesta la dieron las iglesias, cristiana en sus múltiples denominaciones, el Islam, las religiones indias y las filosofías chinas: si los dioses habían creado los pecheros, ¿para qué desarrollar máquinas?

La revolución mental que lanzó la revolución industrial en el siglo XVIII en Inglaterra derivó de las luchas religiosas de esa isla que produjeron un agotamiento real de las justificaciones sobrenaturales. Si los dioses no habían creado a los seres humanos para que trabajasen, se podían buscar soluciones alternativas –máquinas– que redujesen la actividad humana.

Hoy necesitamos un cambio mental que rechace, no ya la creación de pecheros, sino que las soluciones a los problemas actuales se resuelven mediante el gasto gigantesco de energía, y sobre todo de energías fósiles. Una parte muy mayoritaria de la sociedad, incluyendo hasta ministros y presidentes de gobiernos, no concibe la vida sin el dispendio inútil de energía, y sin que esa energía sea de origen solar fósil.

Hablando con personas, desde mecánicos, taxistas, amas de casa, hasta ingenieros consultores de la U.E. y economistas, aparece siempre el argumento de que “las energías solares, los coches eléctricos ‘son muy caros’”.

Ahora, ¿Qué quiere decir “muy caro”?

En el mes de enero de 2016 apareció la noticia de que los EEUU iban a destinar un billón (español) de dólares a armamento. Desde hace 70 años el gasto en armamento no ha servido de nada y los EEUU han perdido todas las guerras en que han intervenido. Aviones, barcos, bombas, han sido desguazados: ¿no es esto “muy caro”?

La única riqueza real en la Tierra es la producida por el sol, bien como productos agrícolas, bien como energía solar fósil, o actual. El resto no es más que movimiento de riqueza (con pérdidas) de un punto a otro, o riqueza virtual, sin realidad alguna.



Figura 6. Central termo-solar. Unos espejos controlados mediante ordenadores, concentran la luz solar en un punto de una torre en el centro del cuasi-círculo. En la torre un fluido inorgánico se calienta hasta temperaturas de 700°C. El calor recogido en la torre se almacena en sales fundidas de litio, sodio y potasio para ser recuperado durante la noche.

La riqueza gigantesca que hemos disfrutado desde el siglo XIX hasta hoy ha sido esencialmente el reparto de la energía solar fósil sacada de las cajas fuertes de los escasos yacimientos disponibles en el planeta.

“Muy caro” es sacar petróleo de un pozo para quemarlo sin reemplazamiento. Pero esto en la actual visión del mundo no aparece como caro.

“Muy caro” es construir un avión que se cae al mar, o que explota en el aire. Muy caro es perder miles de vidas humanas en guerras y deshacer millones de bombas en trozos de metal y humo.

Si esto es así, construir centrales solares que se mantengan en el tiempo, que capturen una energía que no se convierte en humo, que puede llegar a ser, día a día, de aquí a millones de años, 200 veces superior en cantidad a la que estamos utilizando hoy, disponible en todos los lugares de la Tierra y no en escasos yacimientos ¿cómo puede “ser caro”?

Coches eléctricos, limpios, silenciosos, no contaminantes, con un reducido número de piezas mecánicas en sus motores, y por tanto duraderos y reciclables, ¿cómo pueden “ser caros”?

Antes de la Revolución Francesa no había más que 4 personas que pensasen que los reyes no tenían derecho divino: una mayoría inmensa de franceses aceptaba, en su visión del mundo, que los reyes podían actuar a voluntad sin

control alguno. Bastó un minúsculo cambio mental: “no hay derecho divino” para anular la arbitrariedad y conseguir que los gestores sociales respondiesen ante quienes les pagaban.

Antes de la revolución industrial la visión del mundo era que los dioses habían creado a los seres humanos para trabajar sin parar. Se construyeron mitos como el de “ganarás el pan con el sudor de tu frente (algunos)”. Mientras se aceptaba esta visión de mundo evidentemente no se pensaba en máquinas. Bastó un minúsculo cambio mental: “¿y si nadie hubiese ordenado ese mandamiento? ¿Y si substituyésemos las tejedoras e hilanderas por telares automáticos?” para que en 100 años se reemplazase todo el trabajo brutal de los seres humanos por trabajos esencialmente mentales.

Hoy bastaría un cambio de visión de mundo: “no tenemos que gastar ni el 20% de la energía que estamos dilapidando ahora, y la que necesitamos la podemos sacar del sol cada día” para reducir una enorme cantidad de los problemas actuales, y en particular, el que nos ocupa en esta artículo, el del cambio climático.

Sin cambio mental, vamos al desastre. Con este minúsculo cambio mental, podemos empezar, como se empezó con los telares mecánicos en la Inglaterra del siglo XVIII, a buscar y construir nuevas soluciones.

Lo necesitamos. Urgentemente. ❁

# Sobre las bases científicas del cambio climático antropogénico

Manuel de Castro

Catedrático de Física de la Tierra. Universidad de Castilla-La Mancha

Aunque se trata de un asunto que aparece con frecuencia en los medios de comunicación, las recurrentes opiniones confrontadas que aún se escuchan parecen apuntar a que una buena parte de la sociedad adolece de bastante desconocimiento sobre los diversos aspectos que componen el complejo asunto del cambio climático. Lo preocupante es que en este escenario de confusión tendrán que cumplirse los acuerdos adoptados en la Cumbre del Clima de París con cambios normativos que repercutirán en sectores socio-económicos. Indudablemente este proceso sería menos traumático si la sociedad dispusiera de una información fidedigna acerca de la naturaleza del problema, sin alarmismos innecesarios ni obcecado negacionismo. En ello deberían desempeñar un protagonismo los científicos dedicados a los diversos aspectos del cambio climático, aunque comprendo su reticencia a cosechar reacciones descalificadoras. Asumiendo el riesgo, me propongo aquí esbozar brevemente los fundamentos físicos del fenómeno, los medios de que dispone la Ciencia para analizarlo y cómo son las herramientas de que disponemos para simular la evolución climática futura.

Por *Cambio Climático* antropogénico se entiende el conjunto de variaciones que experimentan los diversos climas terrestres a causa del sobrecalentamiento de la superficie planetaria inducido esencialmente por la acumulación en la atmósfera de ciertos gases que emitimos al

quemar combustibles fósiles (carbón, derivados del petróleo y gas natural). Como la magnitud de dicho calentamiento no es igual en todas las latitudes, se alteran los patrones de la circulación planetaria de la atmósfera y del océano, y eso acaba afectando a todos los regímenes climáticos de la Tierra, aunque tampoco en la misma medida.

Este es el fundamento de la teoría sobre cuya consistencia la Ciencia ya no alberga dudas razonables, si bien una parte de la sociedad lo contempla todavía como un tema sujeto a controversia, quizá influida por grupos radicalizados de sesgo “negacionista” que tratan de convencer de que aún no se dispone de certezas suficientes. Pero la verdad es que los científicos sabemos bastante del cambio climático, tanto como para comprender en esencia la causa del calentamiento global observado y su repercusión sobre los climas del planeta, así como para implementar modelos matemáticos capaces de simular aceptablemente la relación entre causa y efecto.

## CAUSAS DEL CALENTAMIENTO

¿Cuál es el fundamento físico que liga el **observado** calentamiento global de la superficie terrestre con la **evidente** acumulación en la atmósfera de ciertos gases? Para tratar de contestar esta pregunta habría que empezar por las causas



que podrían dar origen a dicho calentamiento. Como enseña la Física, la temperatura de cualquier materia obedece al balance del calor que intercambia con su entorno, de manera que si gana más calor que pierde, su temperatura aumenta en una cantidad que depende de su capacidad calorífica y crece a un ritmo en función de su inercia térmica. El planeta Tierra, aislado en el espacio, solo puede ganar o perder calor en forma de radiación. Como únicamente gana el que llega del Sol, y todas las observaciones solventes indican que esa ganancia se ha mantenido prácticamente constante en el último siglo con tenues oscilaciones cíclicas, entonces habrá que examinar el calor que pierde globalmente.

Recurriendo de nuevo a la Física, la magnitud del flujo de calor que emite la Tierra en forma de radiación infrarroja hacia el espacio depen-

de del promedio global de la temperatura de emisión terrestre. Basándose en esto, se determina que tal temperatura debe ser de  $-18^{\circ}\text{C}$  para que haya equilibrio entre ganancia y pérdida. Pero sabemos que la temperatura media global de la superficie terrestre es de unos  $15^{\circ}\text{C}$  (o sea,  $33^{\circ}\text{C}$  más). Luego, resulta obvio que no todo el calor infrarrojo que se desprende de la superficie terrestre escapa al espacio exterior.

Esto se debe a que ciertos gases (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, y otros), presentes de forma natural en la atmósfera, determinan que ésta actúe de forma semejante a un enorme invernadero. Como bien sabemos, el recubrimiento de cristal de un invernadero deja entrar una gran parte de la radiación solar incidente, que calienta su interior pero no permite que escape todo ese calor atrapado. Así se consigue

La Tierra únicamente gana el calor que le llega del Sol. Foto: Álvaro López.

**La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha crecido desde el siglo XVIII más de un 40%, pasando de unos 278 ppm a una cifra cercana a 400 ppm en la actualidad. Además hay consistentes análisis paleológicos señalando que la actual concentración es la más elevada de los últimos 800 000 años, al menos**

mantener una diferencia entre la temperatura interna del invernadero y la de la cara externa del cristal que lo recubre (33°C en el “invernadero atmosférico”). Es decir, que esos gases atmosféricos vendrían a cumplir la función del recubrimiento de cristal, dicho sea esto con las salvedades inherentes a una analogía tan simple. Y, obviamente, de la misma manera que aumentaría la temperatura interior del invernadero si se instalara una cristalera doble o triple, así lo haría la temperatura de la superficie terrestre en el caso de que creciera la concentración de alguno de tales gases atmosféricos. Además, como esto obedece a leyes físicas, resolviendo ecuaciones matemáticas podría calcularse cuanto calentamiento adicional induciría un incremento cualquiera de esos gases en la atmósfera.

Por otro lado se dispone de evidencias científicas incontestables de que la presencia en el aire de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) —el gas que más contribuye al efecto invernadero natural después del vapor de agua— viene aumentando desde mediados del siglo XVIII, época que se considera como el inicio de la era industrial. Según las observaciones, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha crecido desde entonces más de un 40%, pasando de unos 278 ppm a una cifra cercana a 400 ppm en la actualidad (figura 1b). Además hay consistentes análisis paleológicos señalando que la actual concentra-

ción es la más elevada de los últimos 800 000 años, al menos.

¿Qué ha causado tan insólito incremento? El amplio conocimiento científico actual sobre el ciclo natural del carbono permite determinar con pequeño margen de error que más del 99% de esa acumulación de CO<sub>2</sub> se debe a actividades humanas, de entre las cuales destaca claramente la quema de combustibles fósiles y algo menos la deforestación. Aunque los detalles completos de la evaluación se pueden consultar en el informe científico AR5-IPCC-WG1 (2013), vayan aquí estas escuetas cifras ilustrativas: Entre 2001 y 2010, las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> fueron de 33×10<sup>9</sup> Tm/año (figura 1a), mientras que todas las naturales (fotosíntesis, océanos y otras) llegaron a ser de 640×10<sup>9</sup> Tm/año. Pero la misma naturaleza solo fue capaz de eliminar de la atmósfera unas 658×10<sup>9</sup> Tm/año, es decir todas las de origen natural y algo más de la mitad de las humanas. Justamente esa cantidad acumulada (15×10<sup>9</sup> Tm/año) ha sido la responsable de que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera haya aumentado en dicha década a un ritmo de unos 2 ppm/año. En conclusión, aunque las emisiones humanas son muy pequeñas en comparación a las naturales, han llegado a alcanzar una magnitud suficiente para alterar el equilibrio natural que se ha mantenido en los últimos diez milenios, al menos.

Cabe preguntarse ahora si un 40% de aumento de un gas invernadero tan poco abundante en el aire como el CO<sub>2</sub> (apenas el 0.04%) podría ser el principal responsable del calentamiento global observado en los últimos 150 años. Una primera aproximación a la respuesta podría deducirse del hecho incontrovertible de que los 33°C de calentamiento provocado por el efecto invernadero natural antes citado, se deben en su mayor parte a la presencia en la atmósfera de un conjunto de gases cuya concentración media global en el aire no llega al 0.5%. Pero recurriendo de nuevo a la Física, si se resuelven las ecuaciones que consideran la transferencia de radiación en la atmósfera resulta que un aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> de 278

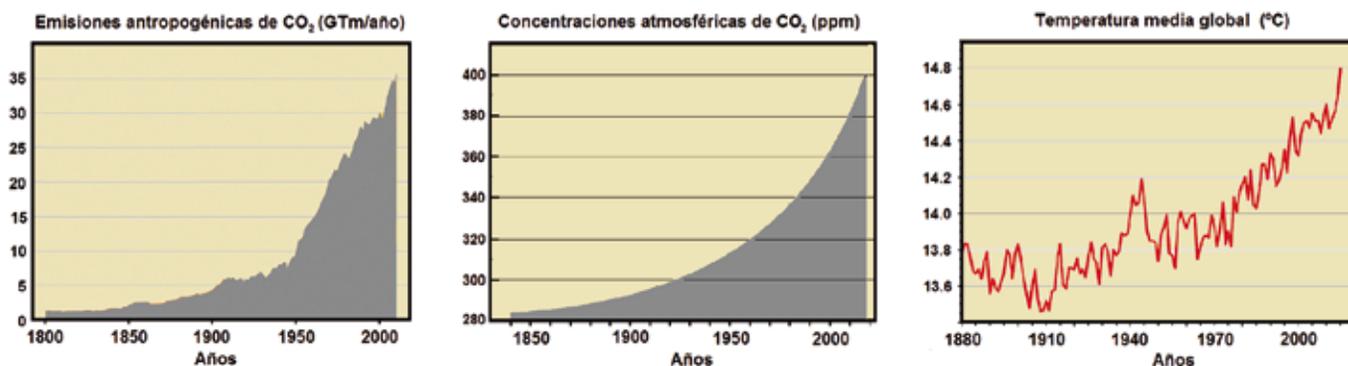


Figura 1. (a) Evolución de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> debidas a actividades humanas expresadas en miles de millones de toneladas por año (fuente IPCC). (b) Crecimiento observado de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire expresada en partes por millón en volumen (fuente NOAA). (c) Evolución de la temperatura media global del aire junto a la superficie terrestre según las observaciones disponibles (fuente NOAA).

a 400 ppm (el observado desde el inicio de la era industrial) daría lugar a un calentamiento medio global del aire en superficie en torno a 6°C (Sloan&Wolfendale, 2013). No obstante, las observaciones disponibles señalan que sólo ha sido de unos 0.9°C (figura 1c). Tan notable diferencia se debe a que este sencillo cálculo solo ha tenido en cuenta uno de los numerosos procesos físicos que ocurren en el sistema climático terrestre, que no solo incluye la atmósfera, sino también los océanos, las masas de hielo, los suelos continentales y la vegetación que los cubre. En cada uno de estos cinco componentes del sistema, con capacidades e inercias térmicas tan diferentes, se producen ingentes e incesantes intercambios de energía y materia que además inducen innumerables e intrincados mecanismos de retroalimentación, la mayoría de extraordinaria complejidad.

## MODELOS DE SIMULACIÓN

Al ir contando los científicos con observaciones terrestres más completas y precisas, a lo largo de las últimas tres décadas han conseguido un extraordinario avance en el conocimiento y comprensión de lo que ocurre en el sistema climático. Esto ha permitido plasmar en ecuaciones matemáticas los efectos de un número creciente de procesos actuando en el sistema, que se han podido resolver al disponer de medios de computación cada vez más potentes. En esto consisten los llamados modelos de simulación

del clima global, que constituyen la mejor herramienta de que dispone la Ciencia para simular el cambio climático antropogénico observado y para obtener proyecciones sobre su posible evolución futura. Quizá algunos se sorprendan al enterarse aquí de lo que realmente son los modelos climáticos. Desgraciadamente existe un notable confusionismo sobre este particular, lo que puede haber facilitado la proliferación de ideas erróneas que acaban provocando cierta desconfianza.

En efecto, para simular el cambio climático se usan modelos físicos, no modelos estadísticos; simplemente, porque estos últimos no serían adecuados. Los modelos estadísticos se basan en analogías o extrapolaciones de comportamientos observados en el pasado para realizar predicciones futuras. Desde luego las proyecciones que ofrecen los modelos estadísticos sobre la evolución de un sistema complejo pueden resultar de gran utilidad, pero siempre y cuando se mantengan las condiciones subyacentes en dicho sistema. Si se sabe que alguna de ellas va a cambiar es muy posible que afecte a la manera en que interactúan las variables originales y entonces las predicciones con modelos estadísticos serían muy cuestionables. Así se comprueba, por ejemplo, con algunos modelos estadísticos que se usan en prospectiva económica cuando se aplican a escenarios inéditos. En contraste con esto, los modelos físicos se fundamentan en la comprensión suficiente de las causas físicas reales que provoca cualquier

**El amplio conocimiento científico actual sobre el ciclo natural del carbono permite determinar con pequeño margen de error que más del 99% de esa acumulación de CO<sub>2</sub> se debe a actividades humanas, de entre las cuales destaca claramente la quema de combustibles fósiles y algo menos la deforestación**

efecto, lo que permite establecer ecuaciones que relacionan causa y efecto según dicta la Física (leyes del movimiento, principios de la Termodinámica o de la conservación de materia y energía). Como tales fundamentos son inmutables, resolviendo sus ecuaciones se podrían realizar predicciones fiables aunque cambie el escenario en que se aplican.

Los modelos climáticos se basan en la resolución numérica del conjunto de ecuaciones que expresan las leyes y principios físicos que rigen la dinámica tridimensional de los procesos fundamentales que tienen lugar en cada componente del sistema climático, así como los intercambios de energía y masa entre ellos. Se trata de un complejo conjunto de ecuaciones diferenciales no-lineales que solo pueden resolverse aplicando técnicas numéricas aproximadas, lo que requiere dividir todo el espacio ocupado globalmente por la atmósfera y el océano mediante una malla compuesta por multitud de celdillas tridimensionales. En cada una de ellas se asignan unos valores iniciales de las variables climáticas (temperatura, velocidad, presión, etc.) y a partir de ellos se resuelven iterativamente las ecuaciones para derivar como van cambiando tales valores con el transcurso del tiempo.

En los modelos climáticos más actuales las celdillas tienen un tamaño horizontal en torno a 100×100 km<sup>2</sup> y cubren la altura entre la superficie y el tope de la atmósfera, o la profundidad



Ciertos gases (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, y otros), presentes de forma natural en la atmósfera, determinan que ésta actúe de forma semejante a un enorme invernadero.  
Foto: Álvaro López.

hasta el fondo oceánico, con decenas de capas verticales de espesor variable, lo que supone un total de más de medio millón de celdillas. Como con ese tamaño de celdilla las iteraciones no deben abarcar intervalos temporales mayores de unos 15 minutos, para realizar por ejemplo una simulación de 300 años habría



que resolver cada conjunto de ecuaciones unos 10 millones de veces en todas y cada una de tales celdillas. Esto ofrece una idea del extraordinario esfuerzo de cálculo que implica cualquier simulación climática y de la necesidad de utilizar los sistemas de supercomputación más potentes. Y aún con ellos, actualmente se preci-

san meses para completar cualquier simulación climática convencional que llegue al final del presente siglo.

Además, la discretización que precisan las técnicas numéricas implica que, con las mencionadas ecuaciones físicas, no pueden resolverse

procesos atmosféricos u oceánicos con tamaños inferiores los de las propias celdillas en la malla del modelo, como por ejemplo los de intercambio turbulento de calor y materia o los implicados en formación de partículas de nube, lluvia o nieve, por lo que sus efectos se han de calcular con ecuaciones derivadas de observaciones. Es decir, los modelos climáticos contienen además ecuaciones de ajuste empírico, aunque solo se utilizan para “parametrizar” el efecto de esos procesos de escala tan pequeña sobre los valores de las variables climáticas, no para calcular su evolución temporal.

Para terminar con esta breve semblanza de los modelos climáticos, conviene señalar que el clima de cualquier región se determina a partir de promedios de las condiciones atmosféricas diarias a lo largo de periodos de decenas de años, y eso es lo que tratan de simular estos modelos. Dicho de forma simplista, su objetivo no es reproducir fielmente la secuencia diaria de las condiciones del tiempo meteorológico a lo largo de decenas de años. Resulta imposible predecir la evolución real de situaciones meteorológicas más allá de un plazo de pocos días. Esto no se debe achacar a imperfecciones de los modelos, sino esencialmente a que la atmósfera es un sistema caótico. Con los modelos climáticos se simula una posible secuencia diaria de condiciones atmosféricas en cualquier zona del globo terrestre, a lo largo de decenas o centenares de años. Dicha secuencia es muy poco probable que coincida día a día con la real, aunque no haya razones físicas que imposibiliten su ocurrencia. Pero, en definitiva, lo que se pretende con los modelos climáticos es que las distribuciones estadísticas (promedios y variabilidad) de dicha secuencia se correspondan con las del clima real observado en el periodo simulado.

En todo caso, no debe olvidarse que cualquier modelo físico es una aproximación más o menos ajustada, pero no la realidad. Por eso todos los modelos climáticos se evalúan de forma exhaustiva realizando simulaciones de épocas pasadas y comparando los resultados con observaciones o con evidencias disponibles. Por ejemplo, se examina la habilidad de los mode-



Tras una importante erupción volcánica se produce un ligero enfriamiento transitorio en la superficie de la Tierra.  
Foto: Álvaro López.

los para reproducir los cambios climáticos en la transición entre eras glaciales e interglaciales, que se sabe ocurrieron en el pasado, y así se comprueba que en esencia se debieron a variaciones en las características orbitales de la Tierra alrededor del Sol. También se constata que los modelos simulan adecuadamente el li-



gero enfriamiento transitorio que experimenta en promedio la superficie de la Tierra tras una importante erupción volcánica, como la del Pinatubo en 1991, y nos dicen que su causa es la permanencia en la baja estratosfera de una parte de las cenizas volcánicas. Y, por supuesto, se evidencia que los modelos simulan acep-

tablemente el calentamiento global observado desde el inicio de la era industrial, esos  $0.8^{\circ}\text{C}$  de media, pero siempre que se incluya el incremento observado de los gases invernadero en la atmósfera. Sin esa condición, los modelos no reproducen la tendencia térmica global observada. Esto constituye una prueba consistente

Si durante los próximos cinco años el incremento global de emisiones siguiera al mismo ritmo actual, cumplir con suficiente probabilidad no superar los 2°C de calentamiento global requeriría reducir al 50% las emisiones en tan solo una década (2021-30). Mientras que si fuera el próximo año cuando se iniciara el decrecimiento de emisiones globales, el objetivo se podría conseguir con el mismo recorte del 50%, pero repartido a lo largo de dos décadas

de que tales gases antropogénicos son los principales responsables del calentamiento global evidenciado en los últimos 150 años.

Entonces, como tales emisiones son las principales responsables del cambio climático observado hasta ahora, parece obvio que su evolución futura estará condicionada al ritmo con que la humanidad siga quemando combustibles fósiles. Para cuantificar dicha evolución solo cabe aplicar los mismos modelos climáticos que han demostrado simular aceptablemente el calentamiento global del último siglo. La cuestión ahora es cómo se comportarán las emisiones globales antropogénicas en el tiempo por venir, pues ese es el dato clave que hay que introducir en los modelos para disponer de proyecciones climáticas futuras.

Hasta hace pocos años, las proyecciones de cambio climático se realizaban según un conjunto de escenarios socio-económicos posibles, desde los basados en el consumo intensivo de combustibles fósiles a los que propiciarían su drástica reducción. Así se comprobó que, según creciera la concentración de gases invernadero

en la atmósfera, así sería la evolución del calentamiento global, y que cuanto mayor fuera éste más se alteraría la magnitud de todas las variables climáticas (temperatura, precipitación, viento, insolación, etc.). También se constató que la cuantía y el signo de tales alteraciones no serían iguales en todas las zonas geográficas del planeta. Y con estas proyecciones de cambio climático se pudieron realizar evaluaciones de los impactos de tipo económico, social y ecológico que originarían a escala regional.

### OBJETIVO GLOBAL CUANTIFICABLE

Pero mitigar el futuro cambio climático global solo se puede conseguir acordando políticas. Y para eso es preciso fijar un objetivo global cuantificable que prevenga que a largo plazo el cambio climático alcance un “nivel peligroso”. Por eso, en la Cumbre Climática de Cancún en 2010 (CoP, 2010) se acordó que el calentamiento global respecto a la era preindustrial no debería superar 2°C. Se decidió utilizar este indicador porque, según los modelos climáticos, su valor está directamente relacionado con la magnitud de la mayor parte de los impactos, y por tanto de los riesgos cuya evaluación es la que permite decidir dónde situar ese “nivel peligroso” a evitar. Y se estableció la cifra de 2°C, entre otras razones, porque en el cuarto informe del Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático (AR4-IPCC-WG1, 2007) se señalaba que por encima de 1.9°C aumentaría “significativamente” el riesgo de se produjeran procesos irreversibles, tales como una fusión irreversible del hielo de Groenlandia capaz de elevar el nivel medio del mar hasta 7 metros. En el quinto informe (AR5-IPCC-WG1, 2013), con resultados de mejores modelos climáticos, se advierte que a ese mismo aumento “significativo” del riesgo se podría llegar con tan solo 1°C de calentamiento global.

No superar el mencionado umbral de calentamiento global se conseguiría con diversas “trayectorias” que sigan las emisiones humanas de gases invernadero a lo largo de las próximas décadas. Así, por primera vez, en el último in-

forme del citado panel de expertos científicos (AR5-IPCC-WG3, 2014) se incluye un análisis detallado de posibles trayectorias que acotarían el calentamiento global, señalando para cada una los correspondientes costes, riesgos y beneficios asociados.

No obstante, la ciencia ha desvelado que lo que determina, en definitiva, la magnitud del calentamiento global no son las emisiones anuales, sino la cantidad total de emisiones acumuladas. Como señala el quinto informe del IPCC (AR5-IPCC-WG1, 2013), para que con una probabilidad superior al 66% no se llegue a esos 2°C de calentamiento, las emisiones antropogénicas totales de CO<sub>2</sub> acumuladas desde el inicio de la era industrial deben limitarse a aproximadamente unas 3.5 billones de toneladas, y hasta el año 2011 ya se había emitido algo más de la mitad. Además el informe advierte de que posiblemente esa cifra máxima debería ser algo menor pues para el cálculo no se han contabilizado otros efectos de actividades humanas.

En conclusión, si se quiere conseguir con una probabilidad razonable no sobrepasar los 2°C de calentamiento global, el total de emisiones acumuladas que la humanidad emita en el futuro no debería sobrepasar la cifra de 1.6 billones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Entonces, se tiene que decidir cómo repartirlas en el tiempo por venir. Obviamente, cuanto más se retrasen las medidas de reducción de emisiones, más severos deberían ser los recortes posteriores para conseguir el objetivo. Por ejemplo, si durante los próximos cinco años el incremento global de emisiones siguiera al mismo ritmo actual, cumplir con suficiente probabilidad no superar los 2°C de calentamiento global requeriría reducir al 50% las emisiones en tan solo una década (2021-30). Mientras que si fuera el próximo año cuando se iniciara el decrecimiento de emisiones globales, el objetivo se podría conseguir con el mismo recorte del 50%, pero repartido a lo largo de dos décadas.

Para concluir esta semblanza sobre la ciencia del cambio climático conviene incluir un breve comentario sobre las incertidumbres. Los cien-

tíficos del clima somos conscientes de que los modelos que usamos son aproximaciones y que es posible que haya procesos en el complejísimo sistema climático aún desconocidos, aunque tenemos una razonable confianza en que los actuales modelos simulan los más importantes. Consecuentemente, todas las predicciones van siempre acompañadas de sus correspondientes intervalos de incertidumbre. Y sabemos que esta no va a poder ser eliminada por completo, aunque sin duda se irá reduciendo a medida que los modelos climáticos mejoren más. Pero eso no puede esgrimirse como excusa para la inacción. Con los modelos de riesgo, que tanto se usan en la toma de decisiones trascendentes, se pueden sopesar las consecuencias de un determinado cambio climático en función de la probabilidad de que éste alcance una cierta magnitud, y a partir de ahí deducir la relación coste/beneficio de las medidas para sortear la amenaza. Esas son las evaluaciones del riesgo que los científicos proporcionamos a los que han de tomar las decisiones políticas para mitigar la formidable amenaza del cambio climático. Las medidas acordadas el pasado diciembre en la Cumbre Climática de París responden a las advertencias científicas del IPCC, aunque pasadas por el obligado tamiz para alcanzar el consenso. Ahora solo cabe esperar su cumplimiento en el horizonte marcado, incluidas las revisiones para conseguir el objetivo de evitar un nivel de calentamiento global “peligroso”. ❀

## BIBLIOGRAFÍA

- AR4-IPCC-WG1 (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report on Climate Change, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html).
- AR5-IPCC-WG1 (2013): Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I, <http://www.climatechange2013.org/report/>.
- AR5-IPCC-WG3 (2014): Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Working Group 3, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- CoP (2010): Acuerdos de la 16ª Conferencia de las Partes de la UNFCCC en Cancún, <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>.
- Sloan, T. and A.W. Wolfendale (2013): “Cosmic rays, solar activity and the climate”, *Environ. Res. Lett.*, vol. 8, 045022. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/045022>.

# La transición energética ya es imparable

**Mar Asunción**

Responsable de clima y energía de WWF

La Cumbre del Clima de París acabó con un mensaje de esperanza para la colaboración en la lucha contra el cambio climático, impulsando un cambio de modelo de desarrollo con menos emisiones de Gases de Efecto Invernadero. El Acuerdo de París lanza una señal a la sociedad, a los inversores y a las empresas, de que la transición energética ya está en marcha y es imparable, y que todos debemos remar a favor. Crea un marco amplio que posibilita la acción y abre el camino a la transformación hacia un modelo de desarrollo bajo en emisiones. Ahora lo importante es recorrer el camino para que efectivamente se transforme en acciones reales que supongan un cambio de rumbo en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, y en consecuencia consigamos frenar el aumento de temperatura global.

La Cumbre de París nos sitúa en un escenario donde ya hemos conseguido pasar página a la frustración de Copenhague, con un nuevo paradigma. Mientras que antes la lucha contra el cambio climático se percibía por muchos gobiernos y empresas como una molestia que intentaban evitar, ahora es reconocida como una transformación imparable que genera esperanza y oportunidades. Es una responsabilidad compartida, y quien se quede fuera y reme a contracorriente verá afectada su reputación.

Lo importante del Acuerdo de París no es lo que está escrito en el texto que, por otra parte,

carece de concreción y de garantías suficientes para conseguir el objetivo que persigue de “mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C y realizar los esfuerzos para que no supere 1,5°C respecto a las temperaturas preindustriales”. Este objetivo es importante ya que da esperanza a los países y comunidades más vulnerables a los impactos del cambio climático, para los cuales un aumento de 2°C supone impactos catastróficos, e incluso podrían llegar a desaparecer del mapa sumergidos por el aumento del nivel del mar. Sin embargo, el texto no contempla una meta cuantitativa a largo plazo sobre la magnitud de reducción de emisiones necesaria para ello, ni plazos claros que orienten la hoja de ruta, mencionándose tan solo que las emisiones deben “alcanzar su punto máximo tan pronto como sea posible” y que en la segunda mitad del siglo se deberá “alcanzar un equilibrio entre las emisiones y las absorciones por sumideros”.

Asimismo, es necesario para poder cumplir la senda de 1,5°C, incrementar la cuantía de las actuales contribuciones voluntarias presentadas por los países, ya que su efecto agregado nos encaminaría a un aumento de temperatura en torno a 3°C, lo cual tendría importantes impactos en la ecología, la economía y la sociedad. Para ello, el acuerdo establece revisiones quinquenales de las contribuciones para aumentar su ambición, y también hace



referencia a la ciencia (IPCC) en cuanto a la metodología a emplear para realizar los inventarios y reitera la necesidad de transparencia en cuanto al reporte y seguimiento de las contribuciones de los países. El acuerdo no establece, sin embargo, ningún mecanismo sancionador para los países que no cumplan con sus contribuciones, más allá del ser señalado por ello.

La falta de concreción asimismo se manifiesta en lo relativo a la financiación que recibirán los países en desarrollo para poder adaptarse a los impactos presentes y futuros del cambio climático y para optar por un modelo de desarrollo bajo en carbono, estableciendo una base de 100 000 millones \$ anuales a partir de 2020 que se ha de revisar al alza antes de 2025. Sin embargo, no indica nada la hoja de ruta sobre la procedencia de estos fondos, ni

señala el criterio de adicionalidad para evitar una doble contabilidad con la ayuda al desarrollo ya existente. Aun así, la financiación es un componente clave del acuerdo que deberá gestionarse de manera impecable para que los países en desarrollo confíen en que recibirán los recursos necesarios para su legítimo desarrollo sin incrementar el monto global de emisiones de GEI, y que recibirán la ayuda para protegerse de los impactos del cambio climático, que ellos sufren de manera más acusada siendo los menos responsables del problema.

La mayor fortaleza del Acuerdo de París es sin duda su carácter universal e inclusivo, ya que ha sido aceptado por 195 países, 187 de los cuales ya han presentado sus contribuciones nacionales, que aunque insuficientes, suponen un primer paso de un camino que todavía nos queda por recorrer y acelerar el paso para lle-

Foto: Álvaro López.

**El Acuerdo de París lanza una señal a la sociedad, a los inversores y a las empresas, de que la transición energética ya está en marcha y es imparable, y que todos debemos remar a favor. Crea un marco amplio que posibilite la acción y abre el camino a la transformación hacia un modelo de desarrollo bajo en emisiones**

gar a tiempo al objetivo. Uno de los principales escollos que se han tenido que salvar ha sido el tema de la diferenciación. El acuerdo reconoce el “principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas”, pero lo hace “a la luz de las diferentes circunstancias nacionales “y no establece bloques de países desarrollados por una parte y países en desarrollo por otra.

#### **POR QUÉ ES IMPORTANTE Y URGENTE ACTUAR**

El grupo de trabajo de Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación del Quinto informe del IPCC [https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5\\_SPM\\_Spanish.pdf](https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5_SPM_Spanish.pdf) muestra que con las tendencias actuales de emisión vamos a empezar a superar los límites de adaptación de los sistemas naturales y humanos. Con niveles elevados de calentamiento será difícil controlar los riesgos y, aunque se invierta de manera significativa y continuada en la adaptación, nos encontraremos con impactos generalizados, que pueden ser abruptos e irreversibles.

<sup>1</sup> Grupo de trabajo de Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación del Quinto informe del IPCC [https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5\\_SPM\\_Spanish.pdf](https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5_SPM_Spanish.pdf).

Ya se han observado impactos del cambio climático en la agricultura, la salud humana, los ecosistemas terrestres y oceánicos, con pérdida de cosechas, escasez de agua, aumento del nivel del mar y serios impactos en la salud humana.

En muchas regiones, las cambiantes precipitaciones o el derretimiento de nieve y hielo están alterando los sistemas hidrológicos, lo que afecta a los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad. Los glaciares siguen retrocediendo prácticamente por todo el planeta, lo que afecta a la escorrentía y los recursos hídricos aguas abajo. Muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas han modificado sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales, pautas migratorias, abundancias e interacciones con otras especies en respuesta al cambio climático en curso. El cambio climático ha afectado negativamente al rendimiento del trigo y el maíz en muchas regiones y en el total global. Además, el cambio climático agrava otros factores de estrés, a menudo con resultados negativos para los medios de subsistencia, especialmente para las personas que viven en la pobreza.

Los riesgos futuros del cambio climático dependerán de la magnitud del calentamiento. El informe muestra con gran nivel de detalle y con un alto grado de certeza científica dos opciones, según el nivel de emisiones, con impactos muy distintos.

Según el aumento del calentamiento, algunos sistemas físicos o ecosistemas pueden pasar a una situación de riesgo de cambios abruptos e irreversibles. Los riesgos aumentan desproporcionadamente conforme se eleva el calentamiento entre 1 y 2 °C y supera los 3 °C, debido al gran potencial de elevación del nivel del mar por la pérdida de los mantos de hielo.

Los riesgos derivados de episodios extremos, como olas de calor, precipitación extrema e inundaciones costeras, serán entre moderados y altos en caso de producirse un calentamiento



adicional de 1 °C. Muchas especies y sistemas con capacidad adaptativa limitada están sujetos a riesgos muy altos en caso de que se produzca un calentamiento adicional de 2 °C, especialmente el hielo marino del Ártico y los sistemas de arrecifes de coral.

Todos los países están en riesgo, pero los países en desarrollo son más vulnerables si no se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y se invierte en adaptación. El IPCC muestra una relación de riesgos a los que nos enfrentamos:

- Riesgo de muerte, lesión, mala salud o desorganización de los medios de subsistencia en zonas costeras bajas y pequeños Estados insulares en desarrollo y otras islas pequeñas, debido a mareas meteorológicas, inundaciones costeras y elevación del nivel del mar.
- Riesgo grave de mala salud y medios de subsistencia para grandes poblaciones urbanas debido a inundaciones continentales en algunas regiones.
- Riesgos sistémicos debido a episodios meteorológicos extremos que provocan el colapso de redes de infraestructuras y servicios esenciales como la electricidad, el suministro de agua y servicios de salud y de emergencia.
- Riesgo de mayor mortalidad y morbilidad durante períodos de calor extremo, particularmente para poblaciones urbanas vulnerables y personas que trabajan en el exterior en zonas urbanas y rurales.

En los próximos años las precipitaciones disminuirán; los periodos más secos tendrán mayor duración y el riesgo de sequía aumentará. Pantano de Entrepeñas. Foto: Vicente González.

- Riesgo de seguridad alimentaria relacionada con la sequía e inundaciones, en particular para las poblaciones pobres de los entornos urbanos y rurales.
- Riesgo de pérdida de medios de subsistencia e ingresos en las zonas rurales debido a una reducida productividad agrícola, en particular para los agricultores y ganaderos con poco capital en las regiones semi-áridas.
- Riesgo de pérdida de biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros, especialmente para las comunidades pesqueras en los trópicos y en el Ártico.
- Riesgo de pérdida de biodiversidad en ecosistemas acuáticos y terrestres que proporcionan para los medios de subsistencia y servicios ecosistémicos.

Asimismo, el informe del IPCC deja claro que todavía estamos a tiempo de actuar, y muestra que la reducción ambiciosa de emisiones puede disminuir el riesgo del cambio climático y limitar la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles.

### ESPAÑA, MUY VULNERABLE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los impactos anteriores son aplicables a España. Además, al ser una península y estar situada en la cuenca mediterránea es uno de los países más vulnerables al cambio climático. Los principales impactos que tendremos y que ya estamos percibiendo son:

- *Mayor frecuencia e intensidad de olas de calor.* Se ha producido un aumento en la frecuencia y dureza de las olas de calor, sobre todo en la mitad sur de la península. Desde el año 1975 ha habido 28 años de olas de calor y 11 sin ellas, y rara es la vez que se dan dos años consecutivos sin olas de calor. El verano de 2015 sufrió tres olas de calor consecutivas entre junio y julio.
- *Salud.* Las olas de calor afectan especialmente a los más vulnerables como los ancianos, los niños o la gente sin recursos, incrementando la mortandad. Según el Instituto Nacional de Estadística, la ola de calor ocurrida en 2003 produjo en España un incremento de 12 919 defunciones más que en el mismo periodo del año anterior
- *Bosques.* Hay una relación directa entre la ocurrencia e intensidad de incendios y la diversidad meteorológica. Así en 1994, 2000, 2005, 2012 y 2015 las condiciones de sequía y calor fueron elevadas y sufrimos muchos y grandes incendios forestales. Y con el incremento de temperatura se espera un fuerte incremento del número de días de riesgo de incendios. [http://awsassets.wwf.es/downloads/fs\\_bosques\\_n1gm\\_1.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/fs_bosques_n1gm_1.pdf).
- *Ríos y humedales.* En los próximos años las precipitaciones en la mitad sur y el este peninsular disminuirán entre un 20 y un 30%, y las cuencas fluviales mediterráneas más secas lo serán aún más. Los periodos más secos tendrán mayor duración, el riesgo de sequía aumentará y las precipitaciones intensas serán impredecibles. Muchos de los humedales que hoy conocemos, y que ya se encuentran en declive por la extracción de agua, podrían desaparecer por completo, como Doñana, Las Tablas de Daimiel, las Lagunas de Ruidera, la Albufera de Valencia o las Lagunas de Villafáfila.<sup>2</sup> [http://awsassets.wwf.es/downloads/fs\\_rios\\_n1gm.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/fs_rios_n1gm.pdf).
- *Playas.* El nivel del mar ha aumentado entre 2 y 3 mm/año en el norte, y entre 2,4 y 7,8 mm/año en el Mediterráneo, y los principales ecosistemas costeros y dunares están en peligro con cambios en la distribución de especies tan importantes como *Posidonia oceanica*. Los episodios de temporales aumentan en intensidad y frecuencia. [http://awsassets.wwf.es/downloads/fs\\_playas\\_ok.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/fs_playas_ok.pdf).

<sup>2</sup> El Cambio Climático En Europa: Percepción e impactos. 1950 - 2050 Jonathan Gómez Cantero. EQUO.



Foto: Nacho Sánchez. WWF España.

- *Especies.* Las especies más vulnerables serán aquellas con poblaciones más reducidas y aisladas y sin capacidad de adaptarse o migrar. La mariposa apolo, el salmón atlántico, el sapo partero ibérico o el alcaudón chico ya se están viendo afectadas. El urogallo y el visón europeo sufrirán la desaparición de su hábitat potencial.

[http://awsassets.wwf.es/downloads/fs\\_especies\\_n1gm.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/fs_especies_n1gm.pdf).

- *Agricultura.* Todos los cultivos de la franja mediterránea y del sur de España se verán afectados. Es especialmente preocupante la prospectiva del impacto del cambio climático sobre cítricos, vides y olivos, tanto por su relevancia económica, como social y cultural. En España con una subida de 4 o 5C° se pone en riesgo toda la huerta de Valencia y

Murcia, así como la viticultura en el Duero, La Mancha o Navarra.

Sin una acción inmediata y ambiciosa estamos en peligro de ir mucho más allá de los límites de la adaptación. Todavía podemos disminuir las emisiones para reducir los riesgos de catástrofe y además adaptarnos a algunos cambios que inevitablemente ocurrirán.

#### PASOS PARA CONVERTIR EL ACUERDO DE PARÍS EN REALIDAD

Combatir el cambio climático es posible y viable. Para ello, es necesaria y urgente la transición hacia un modelo energético más limpio, sostenible, y justo, basado en las energías renovables y la eficiencia energética.

**En el momento de transición política actual, es importante que el nuevo gobierno incluya la lucha contra el cambio climático como un eje transversal de todas las políticas, ya que tiene importantes dimensiones económicas, sociales y ecológicas**

Existen ejemplos en todo el mundo de acciones que contribuyen a un desarrollo bajo en carbono e impulsados por energías limpias y renovables. Lo que se necesita para darles un mayor impulso es un marco global ambicioso para fomentar la transición urgente desde los combustibles fósiles a un modelo energético eficiente, justo y 100% renovable.

En el momento de transición política actual, es importante que el nuevo gobierno incluya la lucha contra el cambio climático como un eje transversal de todas las políticas, ya que tiene importantes dimensiones económicas, sociales y ecológicas.

## PROPUESTAS DE WWF AL PRÓXIMO GOBIERNO PARA LUCHAR CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

### En materia de emisiones

- Establecer objetivos de emisiones para 2020 y 2030 que supongan una reducción de GEI respecto a los niveles existentes en 2013<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> En la actualidad los escenarios que plantea el gobierno para 2020 y 2030, incluyendo las medidas adicionales, suponen aumentar las emisiones respecto a 2013 en un 13% para 2020, y en un 39% para 2030. Primer Informe bienal de España. CMNUCC. Diciembre 2013. Tabla 6c [http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/Documents/131219\\_primer\\_informe\\_bienal\\_de\\_espana.pdf](http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/Documents/131219_primer_informe_bienal_de_espana.pdf).

- Establecer objetivos cuantitativos vinculantes a 2020 y 2030 para los distintos sectores comprendidos dentro de los “difusos” que garanticen la ruta hacia la descarbonización en 2050.

### En materia de energía

- Establecer un marco jurídico definitivo, previsible, coherente y estable con políticas a largo plazo que permitan el desarrollo de un nuevo modelo energético sostenible y 100% renovable para 2050.
- Compromiso a nivel nacional para 2030 con objetivos de generación con energías renovables de la menos el 45%, y al menos un 40% de ahorro en el consumo de energía.
- Acabar con las subvenciones a los combustibles fósiles y trasladar dichas inversiones a las energías renovables.
- Cierre de centrales térmicas de carbón antes de 2018, y poner fin a la financiación del carbón y de la Captura y Almacenamiento de Carbono.
- Cerrar las centrales nucleares fijando su vida útil en no más de 30 años. Abandonar los cementerios nucleares hasta que no exista un calendario claro de cierre de las centrales.
- Abandonar las prospecciones y explotación de hidrocarburos en España, prohibir el fracking y las prospecciones petrolíferas en territorio español y aguas territoriales.
- Apoyar de forma clara el autoconsumo energético sin barreras administrativas, económicas y con una normativa que permita su desarrollo como ocurre en Europa.
- Apoyar políticas efectivas de ahorro y eficiencia energética, con la puesta en marcha de medidas de eficiencia energética basadas en la rehabilitación energética, edificios de consumo casi nulo y medidas de eficiencia y ahorro de energía en ho-



gares que permitan acabar con la pobreza energética.

- Elaborar un plan de transporte que fomente el cambio modal desde el vehículo privado hacia el transporte público dando prioridad a la mejora servicios ferroviarios como eje central de la movilidad cotidiana organizada de los ciudadanos. Fomentar el vehículo compartido y el transporte no motorizado.

### EL PAPEL DE LAS CIUDADES EN LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Las ciudades pueden y deben liderar la transición energética global hacia un desarrollo bajo

en carbono basado en la eficiencia y las energías renovables. Las ciudades tienen competencias que inciden de forma directa o indirecta en las emisiones de GEI (ordenación del territorio, urbanismo y edificación, transporte, gestión energética de los servicios municipales). Tienen herramientas como las ordenanzas municipales, y al ser la administración más próxima al ciudadano cuentan juegan el papel ejemplificador.

Las ciudades españolas de hoy en día son sistemas que siguen un metabolismo lineal, ya que la mayoría de los recursos (energía, agua, materiales, alimentos) vienen de fuera y después de su consumo se transforman en residuos sólidos y líquidos y en emisiones de gases del efecto invernadero. Es necesario reconsiderar la manera en que diseñamos las

Muchas especies han modificado sus pautas migratorias debido al cambio climático. Foto: Vicente González.

Es necesario reconsiderar la manera en que diseñamos las ciudades, promoviendo un urbanismo y edificación más eficientes, energía renovable y generación distribuida, transporte público, y el uso de medios no motorizados. Las opciones de infraestructura que se toman hoy en día condicionarán la capacidad de recuperación urbana a medio y largo plazo

ciudades, promoviendo un urbanismo y edificación más eficientes, energía renovable y generación distribuida, transporte público, y el uso de medios no motorizados. Las opciones de infraestructura que se toman hoy en día condicionarán la capacidad de recuperación urbana a medio y largo plazo. Hay que preparar las ciudades para que tengan capacidad de producir respuestas nuevas y diversas a los actuales desafíos económicos, tecnológicos, sociales y ambientales, y para poner en práctica estas respuestas en múltiples escalas. Además, el desarrollo bajo en carbono genera co-beneficios como son un aire más limpio y creación de empleo.

Las soluciones tecnológicas solas no son suficientes para lograr la sostenibilidad de las ciudades. Es necesario reconsiderar la forma en que las habitamos, para lo cual es imprescindible la sensibilización ciudadana para que la ciudadanía llegue a formar parte indispensable de un metabolismo urbano circular. Las personas deben comprender cómo funcionan sus entornos y qué pueden hacer ellos para mejorarlos: cómo nos desplazamos por la ciudad; cómo usamos la energía para mantener temperaturas



óptimas; cómo consumimos alimentos y a dónde van nuestros residuos, importancia de las zonas verdes y la biodiversidad en sus parques y jardines... Son fundamentales para tener éxito en la transición hacia el desarrollo sostenible los procesos de aprendizaje, la participación, la coordinación y la negociación. Enfoques integrados que contemplen innovación, financiación, liderazgo y apoyo político también son elementos importantes.

En esta senda no partimos de cero. Desde WWF España, ya en 2002 vimos la necesidad y oportunidad de que las ciudades españolas



Es especialmente preocupante la prospectiva del impacto del cambio climático sobre cítricos, vides y olivos, tanto por su relevancia económica, como social y cultural. Foto: Álvaro López.

se uniesen al reto climático y promovimos la “Red de Ayuntamientos por el clima”, germen de lo que después se constituiría, ya coordinado por la Administración, como Red de Ciudades por el clima. También WWF hace 10 años apostó por implicar a las ciudades invitándolas a hacer un gesto simbólico “La Hora del Planeta” <http://www.horadelplaneta.es/>, y en la actualidad contamos con la campaña “El Desafío de las ciudades” [http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/desafio\\_de\\_las\\_ciudades/](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/desafio_de_las_ciudades/) para aquellos municipios que adquieran un compromiso más profundo y se midan en un concurso

internacional con ayuntamientos de todo el mundo.

Aprovechemos la estela del Acuerdo de París para conformar un nuevo modelo de relaciones de las personas con el planeta a través de un modelo de desarrollo más justo, eficiente y renovable. Nos jugamos mucho en nuestro presente y en el futuro de nuestros hijos. El camino está iniciado, ahora falta recorrerlo con paso firme y ligero y así llegaremos a la meta de limitar el aumento de temperatura por debajo del 1,5°C y los peores impactos del cambio climático. El momento de actuar es AHORA. ❁

# Cambio climático y salud

María Neira y Elena Villalobos

OMS

Hoy en día ya no se cuestiona que el cambio climático es una amenaza real, ni tampoco que la actividad humana ha tenido una influencia directa en el calentamiento de la Tierra. La explotación de los ecosistemas ha provocado grandes ganancias y un vertiginoso desarrollo económico desde la revolución industrial, sin embargo, este crecimiento también ha ido acompañado de una degradación de muchos servicios de los ecosistemas. En la actualidad sabemos que esta degradación no puede continuar y si queremos asegurar el sustento y el bienestar de las generaciones futuras, se tienen que introducir cambios en las políticas y prácticas de consumo y producción actuales.

La provisión de fuentes de combustible, agua y alimentos suficientes y el control de los vectores de enfermedades, plagas y agentes patógenos son servicios de los ecosistemas fundamentales para la vida y el bienestar humano.

La intervención humana está alterando la capacidad de los ecosistemas para proporcionar sus bienes y servicios, y esto puede repercutir en la salud de la población en distinto grado, según sea su dependencia de dichos bienes y servicios y también de otros determinantes de la vulnerabilidad, tales como la pobreza, la disponibilidad de atención sanitaria y la exposición al riesgo.

El clima es una parte integral del funcionamiento de los ecosistemas terrestres y marinos

e influye directa e indirectamente en la salud humana. El cambio climático influye en los requisitos básicos de la salud, a saber, un aire limpio, agua potable, alimentos suficientes, entornos salubres y una vivienda segura.

El cambio climático implicará a corto y largo plazo impactos en la salud. Estos impactos incluyen la malnutrición, el aumento de la mortalidad y la morbilidad a causa de fenómenos meteorológicos extremos, el aumento de enfermedades diarreicas, enfermedades cardiorrespiratorias y la alteración en la transmisión de algunas enfermedades infecciosas. Aunque el cambio climático reportará algunos impactos beneficiosos para la salud en determinados contextos, a nivel global, el impacto será negativo para la salud de la población.

Si bien el cambio climático afectará a todas las poblaciones, los riesgos para la salud serán mayormente sufridos por quienes menos han contribuido al cambio climático. La población de pequeñas islas y otras zonas costeras, grandes ciudades, y zonas montañosas y polares son especialmente vulnerables.

## EL ACUERDO DE PARÍS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO: VICTORIA HISTÓRICA PARA LA SALUD HUMANA

Por primera vez en la historia, casi todos los países del mundo, reunidos en torno a la 21 Conferencia de las Partes (COP21) ante la Con-



La OMS está implementando planes de seguridad del agua que consideran los riesgos que el cambio climático lleva consigo, de tal manera que ante episodios de inundaciones o sequías, estos no conlleven brotes de cólera u otras enfermedades relacionadas con el agua. Foto: Álvaro López.

vención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, acordaron tomar medidas para combatir el que es sin duda uno de los temas más importantes del siglo XXI –el cambio climático–.

El mundo cuenta ahora con un tratado sobre cambio climático que, conforme los países vayan actuando y cumpliendo los compromisos alcanzados, se convertirá en un tratado de salud pública. Tal y como recoge el acuerdo, “el derecho a la salud”, será un tema central en las acciones que los países tomen para combatir el

cambio climático y esto representa una oportunidad histórica, no solo para la Organización Mundial de la Salud (OMS), sino para toda el sector de la salud y los sectores que más emisiones de gases de efecto invernadero emiten.

El acuerdo de París refleja la ambición de mantener el calentamiento global “bien por debajo” de 2 °C, que es el punto considerado por los científicos como insosteniblemente peligroso, y a “proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, re-

El mundo cuenta ahora con un tratado sobre cambio climático que, conforme los países vayan actuando y cumpliendo los compromisos alcanzados, se convertirá en un tratado de salud pública. Tal y como recoge el acuerdo, “el derecho a la salud”, será un tema central en las acciones que los países tomen para combatir el cambio climático y esto representa una oportunidad histórica

conociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”. Respondiendo a la petición expresa de muchos de los países menos desarrollados, el acuerdo presenta un marco de “responsabilidades diferenciadas” para la implementación de acciones contra el cambio climático, reconociendo de este modo que los países desarrollados deberían tomar las riendas en la acción destinada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo también apoyar las acciones a ser ejecutadas por países en desarrollo.

Las referencias explícitas a la salud representan un hito en el reconocimiento de los impactos del cambio climático en la salud. Además de dos menciones explícitas al derecho a la salud incluidas en el preámbulo, “los beneficios secundarios que las medidas de mitigación aportan a la salud” son reconocidos dentro de la sección del acuerdo relativa a la “acción reforzada en el periodo anterior a 2020”.

El Acuerdo de París también incluye referencias implícitas a la salud, ya que hace referencia a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992, la cual incluye



El cambio climático influye en los requisitos básicos de la salud, a saber, un aire limpio, agua potable, alimentos suficientes, entornos salubres y una vivienda segura. Foto: Vicente González.

la salud como una de las tres categorías en las que se dividen los efectos negativos del cambio climático (artículo 1), y al compromiso tomado por las partes de la Convención a considerar los efectos negativos para la salud pública de cualquier política de adaptación o mitigación diseñada por dichos países.

El acuerdo incluye un compromiso fuerte en materia de adaptación, reconociendo el principio de “pérdidas y daños” debido al cambio climático, y la protección de aquellas poblaciones y grupos más vulnerables. El tratado empuja a los países a desarrollar planes de adaptación que protegerán la salud humana de los peores



impactos del cambio climático, tales como sequías, olas de calor e inundaciones.

Se incluyen también cláusulas relativas a asegurar un seguimiento transparente así como revisiones periódicas cada cinco años, extremos que fueron promovidos tanto por expertos como por la sociedad civil para monitorear la realidad de las acciones de mitigación así como sus impactos.

Hay que recalcar que serán necesarios recursos para llevar a cabo acciones de impacto. Trabajando conjuntamente, los países desarrollados se han comprometido a financiar un

desarrollo sostenible y resiliente en los países más vulnerables a los impactos del cambio climático. A través de monitoreo y revisión de los compromisos nacionales cada cinco años, el mundo empezará a ver mejoras no solo en el medio ambiente sino también en la salud de la población, sobre todo contribuyendo a la reducción en los 7 millones de muertes anuales atribuidas a la contaminación del aire.

Aunque el acuerdo incluye un marco favorable para la acción en la lucha contra el cambio climático, incluyendo acciones a ser ejecutadas por el sector de la salud, el resultado real de la

**Las referencias explícitas a la salud representan un hito en el reconocimiento de los impactos del cambio climático en la salud. Además de dos menciones explícitas al derecho a la salud incluidas en el preámbulo, “los beneficios secundarios que las medidas de mitigación aportan a la salud” son reconocidos dentro de la sección del acuerdo relativa a la “acción reforzada en el periodo anterior a 2020”**

Conferencia de París dependerá de las acciones tomadas a nivel nacional y de su interpretación en sus respectivas políticas.

Si bien es cierto que el mundo ha reaccionado tarde al problema del cambio climático, ahora la humanidad ya cuenta con los pilares básicos para proteger las condiciones medioambientales y sociales sobre las cuales la vida depende.

En preparación para la COP de París la Organización Mundial de la Salud y 13 millones de profesionales de la salud unieron sus voces para promover un futuro más saludable y seguro. Ahora que ya existe un acuerdo sobre cambio climático hay que construir sobre estas bases e incrementar la acción que ya se venía implementando en esta área de trabajo, y que básicamente engloba dos aspectos, fortalecer la resiliencia de los sistemas de salud y promover los beneficios a la salud de las políticas y programas de mitigación.

#### **FORTALECIMIENTO DE LA RESILIENCIA DE LOS SISTEMAS DE SALUD**

En colaboración con la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, la OMS presentó una serie de “Análisis de impacto del cambio climático en la salud a nivel nacional”.

Ahora, tras el acuerdo, la OMS está trabajando para producir un análisis para cada país, de tal modo que pueda ser usado para mo-

nitorear el progreso logrado en la protección de la salud frente al cambio climático en un periodo de 5 años. La OMS está comprometida a proveer a los países de las herramientas necesarias para que éstos puedan lograr los compromisos alcanzados en París en lo que respecta a salud y, de ser posible, aumentar su ambición de cara a combatir el cambio climático.

Del mismo modo, la OMS está trabajando con los países para fortalecer la resiliencia de sus sistemas sanitarios, de tal modo que cuando desastres naturales relacionados con el cambio climático impactan en una determinada zona, o que las condiciones medioambientales son gradualmente degradadas, los sistemas de salud sean capaces de hacer frente a estos retos. Por ejemplo, la OMS ya está poniendo en marcha sistemas de alerta temprana para salvar vidas durante olas de calor, y también implementando planes de seguridad del agua que consideran los riesgos que el cambio climático lleva consigo, de tal manera que ante episodios de inundaciones o sequías, estos no conlleven brotes de cólera u otras enfermedades relacionadas con el agua.

Más allá de fortalecer los sistemas de salud, también es necesario asegurar que las instalaciones y servicios sanitarios tienen acceso a fuentes de energía limpias. Muchas de las instalaciones sanitarias en el mundo aún carecen de acceso a electricidad, lo cual implica que falta de acceso de las poblaciones vulnerables a tecnologías básicas con la capacidad de salvar vidas. Gracias al Acuerdo de París, la OMS será capaz de fortalecer su rol en la iniciati-



va de las Naciones Unidas “Energía Sostenible para Todos”, la cual espera alcanzar en el 2030 el acceso universal a una energía durable y limpia.

#### **BENEFICIOS A LA SALUD DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN: REDUCCIÓN EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

Durante la Asamblea Mundial de la Salud celebrada el año pasado, los países acordaron trabajar para atajar los impactos a la salud de la contaminación del aire. Respondiendo a este acuerdo la OMS está aumentando su capacidad para ayudar a los países a ejecutar las guías de calidad del aire tanto de contaminación atmosférica como de interiores y poner en marcha una iniciativa de salud urbana.

Este es solo el principio de un enfoque integral a la salud urbana que conectara a la OMS con otras agencias de las Naciones Unidas en una iniciativa para combatir el cambio climático y promover el desarrollo sostenible en ciudades en todo el mundo.

Los puntos mencionados son solo los primeros pasos que la OMS está dando para implementar el Acuerdo de París.

La ruta que se abre frente a nosotros no es fácil, pero el acuerdo de París marca el comienzo de una nueva era en la respuesta global a esta amenaza. ❁

Hay siete millones de muertes anuales atribuidas a la contaminación del aire.  
Foto: Vicente González.

La OMS está trabajando con los países para fortalecer la resiliencia de sus sistemas sanitarios, de tal modo que cuando desastres naturales relacionados con el cambio climático impactan en una determinada zona, o que las condiciones medioambientales son gradualmente degradadas, los sistemas de salud sean capaces de hacer frente a estos retos

# AEMET como proveedor del Servicio de Vigilancia y Predicción del Clima

**Fernando Belda Esplugues**

Director de Producción e Infraestructuras de AEMET

El objeto de la Agencia Estatal de Meteorología, adscrita al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), es el desarrollo, implantación, y prestación de los servicios meteorológicos de competencia del Estado y el apoyo al ejercicio de otras políticas públicas y actividades privadas, contribuyendo a la seguridad de personas y bienes, y al bienestar y desarrollo sostenible de la sociedad española. En relación con este objeto, le corresponden las siguientes competencias y funciones:

- a) La elaboración, el suministro y la difusión de las informaciones meteorológicas y predicciones de interés general para los ciudadanos en todo el ámbito nacional, y la emisión de avisos y predicciones de fenómenos meteorológicos que puedan afectar a la seguridad de las personas y a los bienes materiales.
- b) La provisión de servicios meteorológicos de apoyo a la navegación aérea y marítima necesarios para contribuir a la seguridad, regularidad y eficiencia del tránsito aéreo y a la seguridad del tráfico marítimo.
- c) El suministro de la información meteorológica necesaria para las Fuerzas Armadas, la defensa nacional y para las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, así como la prestación del apoyo meteorológico adecuado para el cumplimiento de sus misiones.
- d) La prestación a las Administraciones Públicas, en apoyo a las políticas medioambientales, de asesoramiento científico en asuntos relacionados con la variabilidad y el cambio climático.
- e) La prestación a las Administraciones Públicas, instituciones, organismos y entidades públicas y privadas, de asesoramiento y servicios meteorológicos y climatológicos de valor añadido o susceptibles de tenerlo, adaptados a los requerimientos específicos derivados de su sector de actividad, mediante acuerdos, licencias y contratos con los mismos.
- f) El mantenimiento de una vigilancia continua, eficaz y sostenible de las condiciones meteorológicas, climáticas y de la estructura y composición física y química de la atmósfera sobre el territorio nacional.
- g) El mantenimiento y permanente actualización del registro histórico de datos meteorológicos y climatológicos.



- h) El establecimiento, desarrollo, gestión y mantenimiento de las diferentes redes de observación, sistemas e infraestructuras técnicas necesarias para el cumplimiento de las funciones de la Agencia.
- i) La realización de estudios e investigaciones en los campos de las ciencias atmosféricas y el desarrollo de técnicas y aplicaciones que permitan a la Agencia el progreso en el conocimiento del tiempo y el clima y una adecuada adaptación al progreso científico y tecnológico, necesario para el ejercicio de sus funciones y para la mejora de sus servicios, así como la colaboración con otros organismos nacionales e internacionales en el desarrollo de proyectos de I+D.
- j) El ejercicio de actividades en materia de formación, documentación y comunicación en materia meteorológica y climatológica u otras propias de la Agencia, para satisfacer las necesidades y exigencias nacionales e internacionales en dichas materias.
- k) La contribución a la planificación y ejecución de la política del Estado en materia de cooperación internacional al desarrollo en materia de meteorología y climatología, en coordinación con las organizaciones nacionales e internacionales que desarrollan estas actividades.
- l) La elaboración y actualización de los escenarios de cambio climático.
- m) La realización, en el ámbito de sus competencias, de trabajos de consultoría, y asistencia técnica.

El aumento en la frecuencia de los eventos meteorológicos extremos afecta profundamente a la estructura de los asentamientos humanos, la salud de las economías nacionales y la calidad del medio natural. Foto: Vicente González.

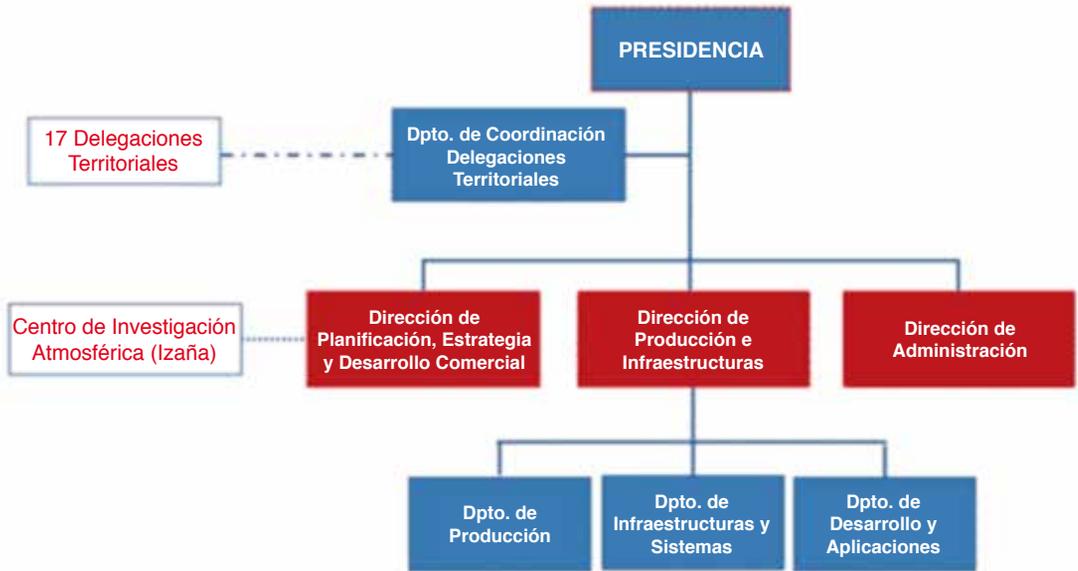


Figura 1. Estructura de la Agencia Estatal de Meteorología.

La Agencia se estructura en un primer nivel en tres direcciones y un departamento de coordinación de Delegaciones Territoriales (fig. 1).

La estructura periférica abarca a todas las Comunidades Autónomas, en la figura 2 puede observarse la estructura periférica del sistema nacional de predicción que complementa la distribución de efectivos por CCAA, genéricamente y teniendo en cuenta el servicio al usuario.

### MARCO MUNDIAL DE SERVICIOS CLIMÁTICOS (MMSC). (WMO, 2012)

En la Tercera Conferencia Mundial del Clima, celebrada en el año 2009, los gobiernos decidieron establecer un Marco Mundial de Servicios Climáticos (MMSC). A comienzos de 2010, un equipo especial de expertos de alto nivel fue encargado de desarrollar una propuesta con los principales elementos para el funcionamiento y el modelo de gobierno del MMSC. Esta propuesta fue adoptada por el decimosexto Con-



Figura 2. Estructura periférica de predicción operativa de AEMET.

greso de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) celebrado en mayo de 2011. A finales del mes de octubre de 2012, tuvo lugar una sesión extraordinaria del Congreso de la OMM en el que se adoptó el Plan de Ejecución en la que se aprobaron el modelo de gobierno y el presupuesto del MMSC, preparados desde el Cg-XVI.

La visión del MMSC es “una sociedad que gestione mejor los riesgos y oportunidades vinculados a la variabilidad y el cambio climático desarrollando e incorporando información y predicciones climáticas con base científica en la planificación, en las políticas y en la práctica”.

Los elementos básicos del MMSC son un conjunto de ocho principios que guían el marco, cinco pilares o componentes que lo conforman y cuatro áreas prioritarias de actuación.

Los ocho principios en los que se basa el marco son los siguientes:

Principio 1. Será prioritario el desarrollo de capacidad en los países menos desarrollados.

Principio 2. La meta será asegurar la disponibilidad, acceso y uso de los servicios climáticos en todos los países.

Principio 3. Habrá tres ámbitos geográficos de actuación: mundial, regional y nacional.

Principio 4. El elemento central del MMSC son los servicios climáticos operativos.

Principio 5. Los servicios climáticos son un bien público internacional ofrecido por los gobiernos.

Principio 6. El marco promoverá el intercambio libre y abierto de los datos, herramientas y métodos.

Principio 7. El papel del MMSC será facilitar y fortalecer, no duplicar.

Principio 8. El MMSC se construirá mediante la asociación de usuarios y proveedores.

Los cinco pilares o componentes esenciales del MMSC necesarios para hacer posible la producción y difusión de servicios climáticos son:

- La Plataforma Interfaz de Usuarios (PIU). Constituye el medio de interacción estructurado entre usuarios, investigadores del clima y proveedores de datos e información climática. Su objetivo es asegurar que se genera información climática adecuada que se pueda utilizar para la toma de decisiones.
- El Sistema de Información de Servicios Climáticos (SISC). Es el principal mecanismo para que, de forma rutinaria, la información climática (sobre el tiempo pasado, actual y futuro) se recoja, almacene, procese y difunda en forma de productos y servicios que contribuyan a la toma de decisiones.
- El pilar de Observaciones y Vigilancia (OyV). Este pilar asegura que se tomen, gestionen y difundan las observaciones climáticas necesarias para satisfacer las necesidades de los usuarios finales. También se encarga de que se elaboren productos básicos de vigilancia del clima a partir de estas observaciones.
- El pilar de Investigación, Modelización y Predicción (IMP). Este componente promueve la investigación para mejorar de forma continua la calidad científica de la información climática. Asimismo, apoya el desarrollo y mejora de métodos y herramientas que faciliten la transición de los desarrollos científicos a servicios climáticos operativos para aplicaciones prácticas.
- El Desarrollo de Capacidad. Este pilar contempla el fortalecimiento de las capacidades necesarias en los cuatro pilares anteriores y más ampliamente los requerimientos básicos (políticas y legislación nacionales, institu-



Figura 3. Esquema ilustrativo de los pilares del MMSC y sus vínculos con las comunidades de usuarios.

ciones, infraestructura y personal) para que existan las actividades relacionadas con el MMSC.

Los pilares OyV y IMP constituyen la infraestructura básica del pilar del SISC. Este componente y la PIU son los que materializan la interacción con los usuarios. El pilar de desarrollo de capacidad involucra a los otros cuatro pilares. La Figura 3 muestra esquemáticamente los cinco pilares del MMSC y sus vínculos con varias comunidades de usuarios.

El Plan de Ejecución del MMSC señala cuatro áreas prioritarias de actuación para la provisión de servicios climáticos en los próximos años: *agricultura y alimentación, salud, reducción del riesgo de desastres naturales y recursos hídricos*. Estos sectores se corresponden con una mejor cobertura de las necesidades básicas de los ciudadanos. En algunos países, como por ejemplo los más desarrollados, en los que ya se dispone de servicios climáticos apropiados en estos ámbitos, es posible que existan otros en los que

sea necesario mejorar sustancialmente su capacidad.

#### AEMET Y EL MMSC

Los fenómenos meteorológicos y climáticos presentan una acusada incidencia en todos los sectores de la sociedad y de la economía. Los eventos meteorológicos afectan profundamente a la estructura de los asentamientos humanos, la rutina de la vida cotidiana, la salud de las economías nacionales y la calidad del medio natural. Los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) constituyen por ello un elemento clave de las infraestructuras que satisfacen las necesidades vitales de los Estados en un entorno definitivamente globalizado y sin fronteras (WMO, 2012).

En la actualidad uno de los grandes retos que tienen los Servicios Meteorológicos es tener la capacidad suficiente para dar productos y servicios meteorológicos y climáticos con

valor añadido útiles para la correcta toma de decisiones a diferentes escalas. La demanda de la sociedad por un servicio meteorológico de calidad y ágil sigue aumentando a la misma velocidad que las nuevas tecnologías van permitiendo la transmisión de información en tiempo real y en cualquier lugar (Belda, 2015).

La gestión de gran cantidad de información y el desarrollo de herramientas eficientes para la extracción de información y del conocimiento son un desafío para los propios Servicios Meteorológicos. Cuando nos referimos a información meteorológica estamos hablando de observaciones, imágenes de satélites, imágenes de radares meteorológicos, predicciones meteorológicas, avisos de fenómenos adversos, modelos numéricos meteorológicos, modelos climáticos..., información que debe ser procesada a diferentes niveles dependiendo de las necesidades del usuario (Belda, 2015).

Sistemas de información, Minería de datos o Big Data, son conceptos que hacen referencia al manejo de grandes cantidades de datos y a los procedimientos y herramientas utilizadas para encontrar patrones repetitivos que nos

sirvan para generar modelos predictivos que faciliten la generación de productos requeridos por la sociedad y de fácil uso (plataformas web, informes, estadísticas...). (Belda y Penadés, 2010).

La correcta predicción y detección de los fenómenos meteorológicos adversos, la elaboración de eficientes sistemas de alerta temprana conlleva el manejo de una gran cantidad de información que debe ser analizada correctamente.

Para una adecuada generación de productos y servicios, su gestión y difusión, la AEMET divide su cadena de producción en tres sistemas principales (figura 4): el sistema nacional de observación (SNO), el sistema nacional de predicción (SNP) y el sistema nacional de vigilancia y predicción del clima (SNVyPC) y dos sistemas de apoyo, el sistema nacional de I+D+i (SNI+D+i) y el sistema nacional TIC (SNT).

La generación de la información está focalizada a los sectores que son sensibles a las condiciones meteorológicas, a la variabilidad del clima y al cambio climático. Destacar la agricultura y la seguridad alimentaria; la protección de vidas

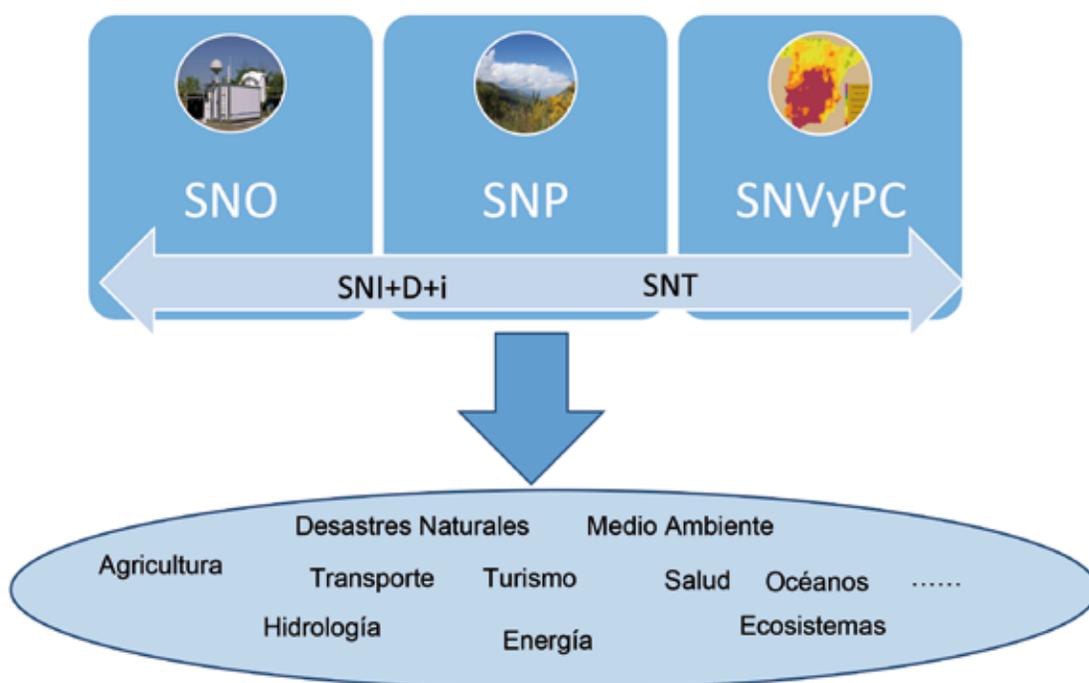


Figura 4. Visión general del sistema de información meteorológica y climatológica de la AEMET. Generación de productos y servicios para diferentes sectores.



Figura 5.  
Estaciones  
meteorológicas  
automáticas.

y bienes; la reducción de riesgos de desastre; los ecosistemas y el medio ambiente; la energía; la salud; las grandes ciudades; los océanos y litorales; el turismo; el transporte y los recursos hídricos...

La presencia de AEMET en todas las CC. AA. le permite asesorar e interactuar más directamente con los usuarios con procedimientos de apoyo y alternativos entre delegaciones territoriales y servicios centrales (PIU). Relacionadas directamente con el pilar de OyV está el SNO, SNP. Las principales infraestructuras de AEMET en esta componente del MMSC son sus redes de observación que cubren de forma homogénea el territorio nacional, los procedimientos de calibración de su instrumentación, sus sistemas TIC que soportan la operación de las redes, el Banco Nacional de Datos Climatológico que constituye el registro histórico de datos climáticos observados en las estaciones convencionales, y el sistema de archivo de datos meteorológicos (SSDM).

En el pilar de OyV las asociaciones se mantienen fundamentalmente en el ámbito de la observación, sobre todo a nivel internacional (a través de OMM, EUMETSAT y EUMETNET).

A nivel nacional, AEMET mantiene colaboraciones con varios organismos que operan redes de estaciones de superficie (meteorológicas y oceanográficas) a nivel estatal y de cuenca hidrográfica y, en menor medida, autonómicas. También se coopera con instituciones en el ámbito de las medidas radiométricas y de calidad del aire.

Los procesos de vigilancia climática están relacionados con el SNVyPC y SNI+D+i, se generan informes de vigilancia del clima nacionales con periodicidad semanal, mensual, estacional y anual mediante técnicas de interpolación referenciadas. De forma automática se elabora información diaria sobre valores extremos superados y otros productos de seguimiento para confirmación y estudio de fenómenos meteorológicos recientes.

La componente IMP está relacionada plenamente con el SNI+D+i, focalizada fundamentalmente a desarrollo e innovación dedicado a temas de medio ambiente, así como líneas de investigación en áreas relacionadas con los escenarios de cambio climático, estudios de registros históricos y variabilidad del clima y predicción estacional. Las investigaciones que

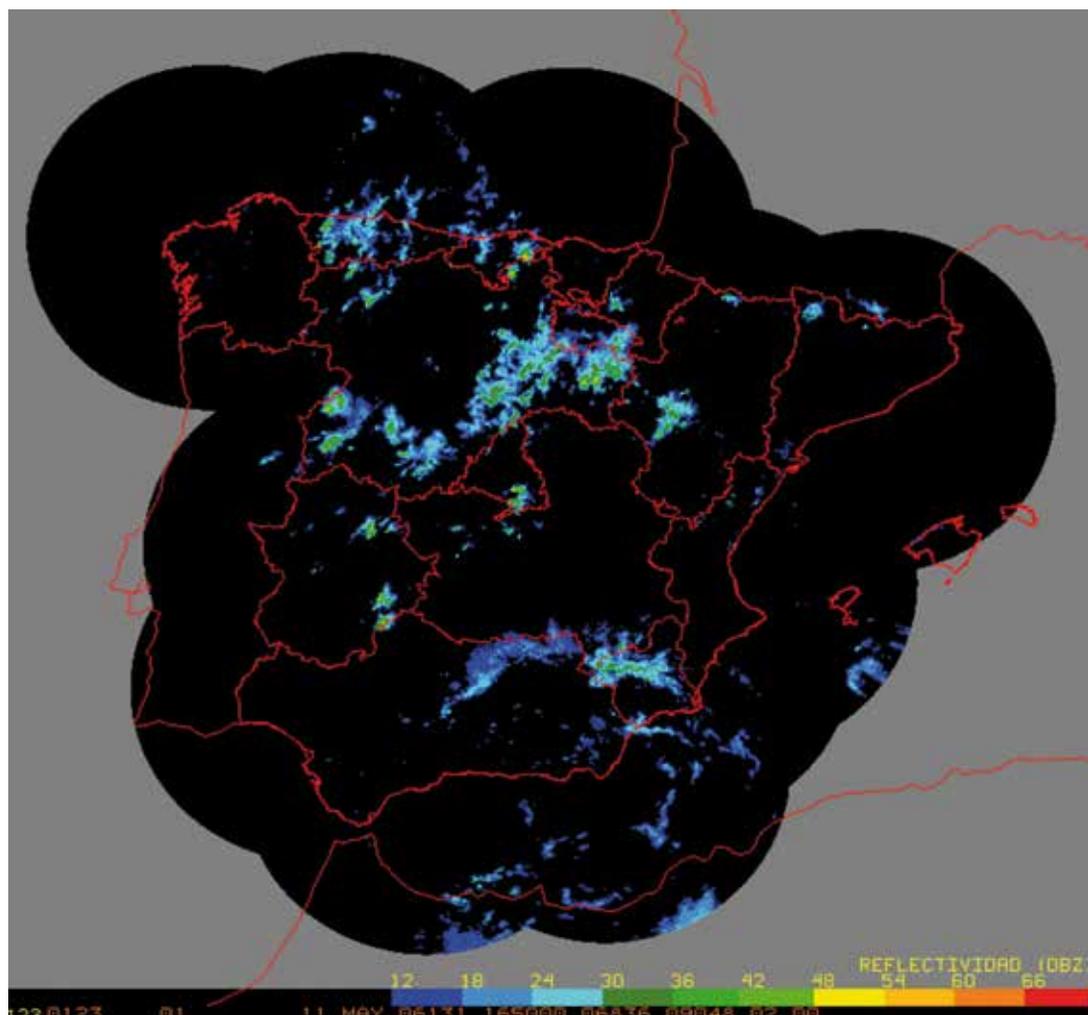


Figura 6. Composición nacional de imágenes radar.

se llevan a cabo en el resto de áreas temáticas se basan en el uso de observaciones y modelos. Se utilizan las series de datos del Banco Nacional de Datos Climatológicos y reanálisis globales y nacionales.

Se tiene acceso a las salidas de modelos climáticos y de predicción estacional globales y se trabaja con técnicas de reducción de escala estadísticas y dinámicas basadas en modelos que también se utilizan para predicción numérica del tiempo. Se participa en el desarrollo y ejecución de un modelo global del sistema Tierra y se llevan a cabo colaboraciones para la generación de escenarios regionalizados de cambio climático oceánicos. Se realizan trabajos de validación y evaluación objetiva de los modelos numéricos en periodos en los que se dispone

de registros de observaciones y de tiempo pasado. Se utilizan ensembles para obtener una expresión de incertidumbre.

En medio ambiente se trabaja con las observaciones (SNO,SNI+D+i) de un completo programa de medidas de las redes especiales y del observatorio de Izaña, y se desarrolla y ejecuta un modelo de transporte químico que simula las reacciones que ocurren entre los componentes atmosféricos en la troposfera y en la estratosfera.

Las infraestructuras TIC (SNT) de AEMET soportan parte de las necesidades de supercomputación y archivo. El resto se obtiene de los recursos a los que se tiene acceso por la pertenencia al CEPPM.



Figura 7. Red radiométrica nacional.

La componente de IMP es en la que se da, con diferencia, un mayor grado de colaboración tanto a nivel internacional como nacional. En el ámbito de medio ambiente (sin tener en cuenta modelización) predominan las asociaciones con otros organismos españoles, sin embargo en todos los tipos de modelización se coopera con instituciones europeas.

### SISTEMA NACIONAL DE OBSERVACIÓN (SNO)

La componente de observación proporciona de forma regular una amplia gama de medidas estandarizadas de diferentes propiedades físico-químicas de la atmósfera.

El SNO agrupa todas las redes de observación de la AEMET, su gestión, mantenimiento y calibración así como los controles de calidad generando un volumen de datos al Banco Nacional de Datos Climatológicos del orden de 2000 millones de datos horarios y de 2500 millones de datos diezminutales.

Una red de observación con 90 observatorios con personal propio, 850 estaciones automáticas de observación (figura 5), 7 estaciones de radiosondeo en tierra, 1 en el buque “Esperanza del Mar” y 2 en las oficinas meteorológicas móviles de Defensa. Red de 15 radares meteorológicos con capacidad doppler, red de detección de rayos con 15 equipos detectores en la Península y 5 en las Islas Canarias (figura 6), red de 2430 estaciones pluviométricas y termopluviométricas atendidas por colaboradores altruistas y una amplia red de observación de la composición atmosférica y radiación solar (figura 7). En la tabla 1 se resumen las características de las mismas.

### SISTEMA NACIONAL DE PREDICCIÓN (SNP)

Una de las funciones principales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) consiste en suministrar información y servicios que permitan a los gobiernos y a las demás partes interesadas minimizar los costes de los desas-

Tabla 1: Redes de observación meteorológica

Tipo de Red	Número de estaciones	Distancia entre estaciones	Instrumentación	Frecuencia de datos
Red sinóptica básica regional	36 (9 GCOS/GSN)	150 km	Estación meteorológica semiautomática	Horaria
Estaciones de Radiosondeo	8 (2 GCOS/GUAN)	300 km	5 Autosondas	00 and 12UTC
ASAP y VOS	1	Área costera de Mauritania	Estación automática	Sondeo a las 12UTC Cada tres horas: SHIP
Red Climatológica Básica Regional	54		Manual y estaciones automáticas	Climat Climat temp
Red mesoescalar	282	30-80 km	64 Estaciones semiautomáticas 218 Estaciones automáticas	Cada 10 minutos
Red climatológica ordinaria nacional	2423	Criterios climatológicos nacionales	Manual 555 AWS	Mensual

tres naturales, mediante la realización de actuaciones preventivas ante los fenómenos meteorológicos adversos y la mitigación de sus posibles efectos. El objetivo fundamental del SNP es la elaboración de esta información en el corto (1-3 días), medio (5-6 días) y largo plazo (7-10 días).

Se considera fenómeno meteorológico adverso a todo evento atmosférico capaz de producir, directa o indirectamente, daños a las personas o daños materiales de consideración. En sentido menos restringido, también puede considerarse como tal cualquier fenómeno susceptible de alterar la actividad humana de forma significativa en un ámbito espacial determinado. En consecuencia pueden resultar adversas, por sí mismas, aquellas situaciones en las que algunas variables meteorológicas alcanzan valores extremos. También pueden ser potencialmente adversas aquellas situaciones susceptibles de favorecer el desencadenamiento de otras adversidades, aunque éstas no tengan, intrínsecamente, carácter meteorológico.

La evolución de las modernas técnicas meteorológicas permite generar información sobre la ocurrencia de este tipo de fenómenos con una alta resolución espacial y temporal

y también cuantificar con mayor precisión y fiabilidad la intensidad de los fenómenos en cuestión.

De acuerdo con todo ello, el Instituto Nacional de Meteorología (INM), precursor de AEMET ha venido desarrollando, desde la década de los 80, diversos planes operativos tendentes a facilitar la mejor información posible sobre la predicción y vigilancia de este tipo de fenómenos. A los primitivos planes PREVIMET siguió, desde mediados de los 90, el denominado Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Adversos (PNPVFA). Con la intención de mejorar este plan y para satisfacer de modo armónico los requerimientos del proyecto europeo Metealarm, se lanzó en junio de 2006 este nuevo plan, denominado Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa: Metealerta.

El objeto del plan es facilitar a todos los ciudadanos y a las instituciones públicas, muy singularmente a las autoridades de Protección Civil, la mejor y más actualizada información posible sobre los fenómenos atmosféricos adversos que se prevean así como mantener una información puntual de la evolución de los mismos, una vez que se ha iniciado su desarrollo. Esta información, recogida en los



Figura 8. Estructura del Sistema Nacional de Predicción de AEMET.

boletines de avisos, se distribuye a las autoridades responsables de Protección Civil, así como a los distintos medios informativos. También aparece en la propia página Web de AEMET.

El Plan establece qué fenómenos y qué cantidades o intensidades de sus variables meteorológicas asociadas se consideran, no solamente inusuales desde el punto de vista climatológico, sino también lo suficientemente adversas como para que puedan afectar seriamente a la población, al no estar preparada para las mismas.

Con tal fin y para discriminar en la medida de lo posible la mayor peligrosidad del fenómeno –y por tanto su posible adversidad– se establecen, para cada uno de ellos, tres umbrales específicos, lo que a su vez da origen a cuatro niveles definidos por colores, el primero de los cuales, identificado con el color verde, implica la no existencia de aviso; los tres niveles siguientes, con los que se corresponden los umbrales citados, identificados por los colores amarillo, naranja y rojo respectivamente, son ya niveles de alerta, aunque solamente se generará un boletín específico de aviso cuando

se prevea la superación de umbrales de los dos últimos niveles (naranja y rojo).

La estructura del SNP está basada en la especialización del usuario y en la influencia de factor geográfico en la meteorología (figura 8), en concreto a los cuatro sectores de usuarios prioritarios de AEMET, a saber, Prevención de desastres naturales (fenómenos meteorológicos adversos), aeronáutica, marítima, montaña y defensa.

En este sentido, para la meteorología marítima se establecen dos zonas: el Atlántico y el Mediterráneo.

Para el grupo especializado en la atención a sector de usuarios de meteorología de montaña y nivología se establece una única zona que comprende las principales cordilleras del territorio nacional: Picos de Europa, Pirineo Navarro, Pirineo Aragonés, Pirineo Catalán, Ibérica Aragonesa, Ibérica Riojana, Sierra de Gredos, Sierras de Guadarrama y Somosierra, y Sierra Nevada.

Para el grupo de meteorología aeronáutica de aeródromo se establecen 5 zonas: Norte, In-



Figura 9. Mapas previstos de riesgos de incendios.

terior, Este, Sur y Canarias. En general, cada uno de estos 5 subgrupos es responsable de la prestación de servicios a los aeródromos de su zona.

Para el grupo de fenómenos meteorológicos adversos se establecen 6 zonas: Norte, Interior-Norte, Interior-Sur, Este, Sur y Canarias.

Para la meteorología aeronáutica de área, el territorio nacional se subdivide en 2 zonas: una para el FIR de Canarias y otra para los FIR de Madrid y Barcelona, se establecen dos subgrupos funcionales de meteorología de área.

#### SISTEMA NACIONAL DE VIGILANCIA Y PREDICCIÓN DEL CLIMA (SNVYPC)

La variabilidad del clima y el cambio climático son fenómenos a los que hay que hacer frente y adaptarse cotidianamente. La sociedad siempre ha tenido que afrontar la variabilidad del clima, sobre todo los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. La combinación de los efectos del cambio climático y la vulnerabilidad y exposición cada vez mayores a condiciones adversas debido a las migraciones, el desarrollo de infraestructuras y los cambios en el uso

de las tierras constituyen retos sin precedentes para la sociedad (WMO, 2012).

Aunque gran parte de las capacidades e infraestructura básicas de los servicios climáticos ya existen en AEMET, se está trabajando en mejorar los mismos, principalmente reduciendo la incertidumbre en algunos productos y la puesta en marcha de procedimientos de verificación sistemática de los productos emitidos incorporando información procedente de reanálisis y de teledetección.

La investigación en productos de modelización, predicción estacional, mensual y de la calidad del aire están siendo desarrollados bajo proyectos de carácter nacional e internacional evaluando el impacto de las predicciones en el usuario final. Los escenarios de cambio climático han sido promovidos por el PNACC.

La prestación de servicios climáticos supone elaborar y poner a disposición de los usuarios una serie de productos de información histórica, en tiempo real y anticipada sobre la variabilidad del clima y el cambio climático junto con información sobre sus repercusiones. Estos productos van acompañados de ayuda para interpretarlos y determinar una serie razonable de decisiones posibles al tiempo que permiten intercambiar comentarios para encontrar siem-

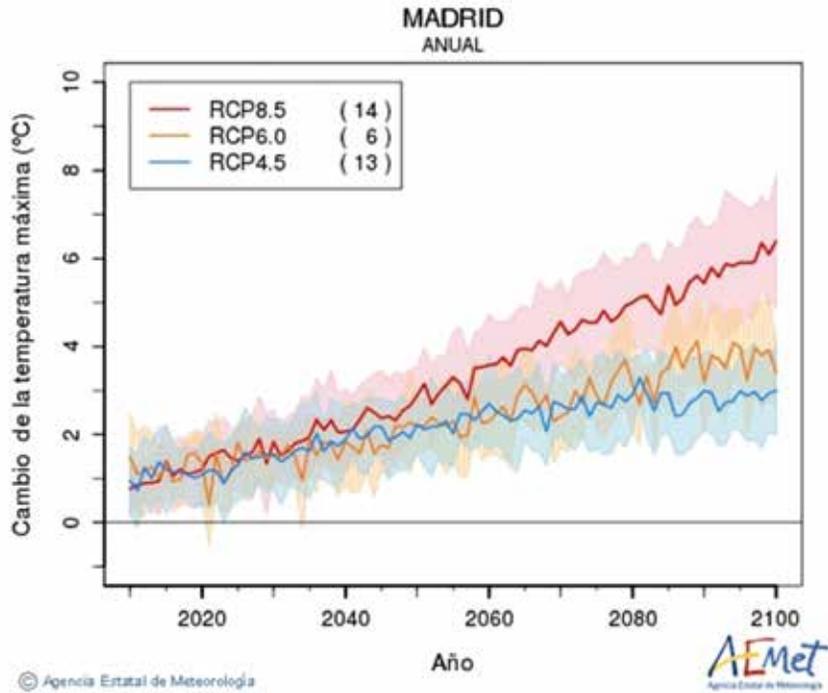


Figura 10. Proyección de cambio de temperatura máxima en el siglo XXI.

pre maneras de mejorar los servicios climáticos (SISC).

En AEMET hemos definido cuatro componentes que nos permiten completar la prestación meteorológica y climatológica:

1. Conservación de la memoria del clima. Conservar a largo plazo todo tipo de datos y productos climáticos. Desde la captura y rescate de los datos de observación y de productos climáticos, hasta su almacenamiento en archivos y bases de datos permanentes.
2. Vigilar el clima. La Vigilancia del Clima es el proceso de describir, a través del análisis de los datos de observación, las características de los estados pasados y actuales del clima sobre dominios y períodos especificados. Desde el cálculo de valores climáticos de referencia hasta la elaboración de productos de vigilancia climática (figura 9).
3. Predecir el clima. Elaborar predicciones climáticas desde la escala mensual en adelante y proyecciones de cambio climático a escala secular. Desde las predicciones mensuales a

las proyecciones de cambio climático (figura 10).

4. Prestar servicios climáticos: Poner a disposición de los usuarios de organismos gubernamentales, del público general, de círculos académicos y de un conjunto diverso de usuarios especializados, productos e información climática adaptados a una gama de contextos sociales, económicos y medioambientales con asesoría sobre su interpretación y uso. Desde el suministro de datos de los archivos climáticos hasta la prestación de servicios especializados para sectores especializados, incluida la asesoría sobre su uso (figura 11).

### CONCLUSIONES

Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos presentan un acusado impacto socioeconómico a todos los sectores de la sociedad. El aumento en la frecuencia de los eventos meteorológicos extremos afecta profundamente a la estructura de los asentamientos humanos, la rutina de la vida cotidiana, la salud de las economías nacionales y la calidad del medio natu-

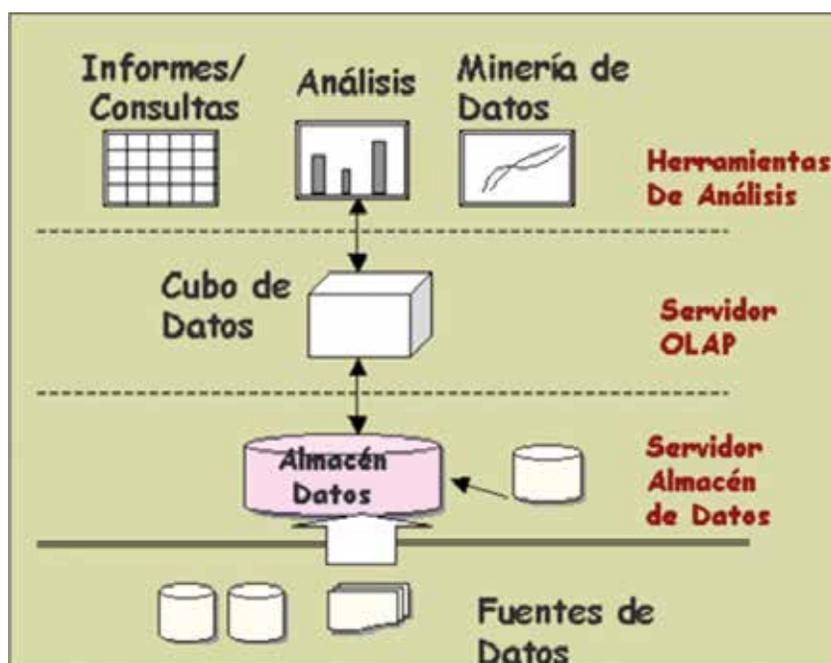


Figura 11. Arquitectura de 3 niveles del almacén de datos para la prestación de los servicios climáticos. (Penadés, 2005).

ral. Afectan por tanto a la vulnerabilidad ante futuros fenómenos climáticos extremos, modificando la resiliencia, la capacidad para enfrentar los problemas y la capacidad de adaptación.

La OMM, aprobando el plan de implementación del MMSC, establece los principios y marca las líneas de actuación para el desarrollo de un sistema de información climatológica eficiente y ágil enfocada a los sectores de beneficio social como los recursos hídricos, prevención de desastres naturales, salud, agricultura y alimentación.

La gestión de gran cantidad de información y el desarrollo de herramientas eficientes para la extracción de información y del conocimiento son un desafío para los propios Servicios Meteorológicos.

La información proporcionada por la AEMET dispone de la infraestructura necesaria para proveer los servicios meteorológicos y climáticos requeridos por la sociedad. Existe una infraestructura territorial que desempeña un papel clave para generar productos climáticos. La presencia de AEMET en todas las CC. AA. le permite asesorar e interactuar más directamente con los usuarios.

AEMET cuenta con sistemas TIC (SNT) atendidos permanentemente e información muy completa. Un SNO con observatorios centenarios y registros desde 1893. Un SNP consolidado y un plan meteoalerta en constante operación y actualización. EL SNI+D+i que permita la investigación y el desarrollo en cualquier campo del medio ambiente, variabilidad del clima y Cambio climático. El SNVyPC que permite la homogeneización de procedimientos, la generación consistente de productos para la vigilancia del clima y la elaboración de proyecciones climáticas para el siglo XXI. ❀

## BIBLIOGRAFÍA

- AEMET (2008). Estatuto de la Agencia Estatal de Meteorología. BOE 14 de febrero de 2008.
- Belda F and M.C Penades. (2010) "Applying Data-Minig techniques to study drought periods in Spain". 10th Annual Meetings of the EMS/8th ECAC. Vol. 7. EMS2010-444.
- Belda, F (2015). Big data y servicios climáticos. *Revista de ciencias y humanidades*. Fundación Ramón Areces.
- Penadés, M.C. (2005) "Workflow Mining". *Minería de Datos: Técnicas y Aplicaciones*. Ediciones de la UCLM, 187-212.
- WMO (2012). *The Journal of World Meteorological Organization*. Nº 61(2).

# Implicaciones del Acuerdo de París en los sectores relacionados con los usos de la tierra, cambios de uso de la tierra y la silvicultura

Agustín del Prado y María José Sanz

Basque Center for Climate Change (BC3)

En diciembre 2015, en el seno de la Convención Marco para el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU), 194 países consiguieron avanzar en la lucha contra el cambio climático y la paliación de sus efectos con un acuerdo sin precedentes desde que se adoptó el Protocolo de Kioto en 1997 al adoptar el “Acuerdo de París”. La ratificación de los mismos, proceso necesario para su entrada en vigor en el 2020, se espera se complete el 22 de abril de 2016. Para que el proceso de ratificación sea efectivo es necesario que los países que ratifiquen representen al menos el 55% de las emisiones globales.

La Convención sigue siendo el marco multilateral en el que se enmarcan los instrumentos para su implementación, como el Protocolo de Kioto o el reciente Acuerdo de París. Dentro de su naturaleza y las obligaciones que se contraen, todos ellos son legalmente vinculantes. Para entender su importancia es necesario ponerlos en el contexto histórico de los avances alcanzados desde que se adoptó la CMCCNU en el año 1992. En la siguiente tabla 1 se pueden ver los hitos más importantes entre 1992 y 2015 (en gris la convención y sus instrumentos legalmente vinculantes).

Después de su adopción y debido a los escasos avances en sus primeros años, la CMCCNU decidió adoptar en 1997 el Protocolo de Kioto, que como elemento a destacar suponía compromisos o metas absolutas y obligatorias respecto a un año base predeterminado (para la mayoría el año 1990) solo para los países desarrollados (los llamados países del anexo I de la Convención) que lo ratificaran. Aunque las metas que se fijaron fueron modestas -un total del 5% de las emisiones y el mayor emisor no ratificó- la implementación del Protocolo de Kioto en su primer periodo de compromiso (2007-2012) sentó importantes bases para avanzar en aspectos de reporte, mejora de la transparencia y calidad de las estimaciones de las emisiones y sumideros (con los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero), la comunicación de cuáles son las acciones que se están llevando a cabo a nivel nacional en el ámbito del cambio climático (comunicaciones nacionales), mayor reconocimiento de la necesidad de apoyar la adaptación en los países más vulnerables y en vías de desarrollo, y la creación de mecanismos de flexibilidad para que se pudiese cooperar entre diferentes países dependiendo de su capacidad de esfuerzo para



Foto: Álvaro López.

alcanzar la meta común (mercado de emisiones) o que las emisiones se pudieran producir mediante la transferencia de tecnologías limpias a países en vías de desarrollo (mecanismos de desarrollo limpio). El Protocolo ha cumplimentado su primer periodo de compromiso y se han enmendado algunos artículos (las enmiendas de Doha) y adoptado las modalidades para un posible segundo periodo que podría entrar en vigor si un número de países con emisiones superiores al 55% de las emisiones globales lo ratificaran y que expiraría en 2020.

En estos la Convención ha adoptado decisiones que han llevado a la creación de algunos instrumentos en aspectos relacionados con la adaptación (Foro de Adaptación), la transferencia de tecnología (creación del Centro de Tecnología del Clima) o la financiación (el fondo

verde global) que apoyan a la misma en su implementación o a sus instrumentos de implementación.

En suma, el Acuerdo de París no hubiera sido posible sin la experiencia y conocimientos que se han venido adquiriendo a través de la implementación de la Convención y sus instrumentos disponibles hasta hoy.

#### EL PAPEL DE LA CIENCIA

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó

Tabla 1. El proceso climático en retrospectiva

2015	Se adopta el Acuerdo de París.
2014	CP 20 en Lima, se lanza el plan de acción de Lima.
2013	CP 19 en Varsovia, se intensifican las negociaciones para el próximo acuerdo.
2012	CP18 en Doha, Catar. Se aprueba la enmienda al Protocolo de Kioto.
2011	CP17 en Durban, Sudáfrica. Se adoptan las modalidades del segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto.
2010	Se redactan los Acuerdos de Cancún que son ampliamente aceptados por la CP en la CP 16. En dichos acuerdos los países formalizaron las promesas que habían hecho en Copenhague.
2009	Se inicia la redacción del Acuerdo de Copenhague en la CP 15 celebrada en Copenhague. La Conferencia de las Partes «toma nota» del mismo y posteriormente los países presentan promesas no vinculantes de reducción de las emisiones o promesas de medidas de mitigación.
2007	Se publica el cuarto informe de evaluación (AR4) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El público se sensibiliza sobre la ciencia del cambio climático. En la CP 13 las Partes acuerdan la Hoja de Ruta de Bali, que marca el camino hacia una situación mejorada después de 2012 a través de dos corrientes de trabajo: el Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos con arreglo al Protocolo de Kioto (GTE-PK) y otro grupo creado en el marco de la Convención, el Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo (GTE-CLP).
2006	Se adopta el programa de trabajo de Nairobi.
2005	Entra en vigor del Protocolo de Kioto. La primera reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto (MOP 1, por sus siglas en inglés) se celebra en Montreal. De acuerdo con los requisitos del Protocolo de Kioto, las Partes iniciaron las negociaciones en torno a la siguiente fase del mismo en el marco del Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos de las Partes del anexo I con arreglo al Protocolo de Kioto (GTE-PK).
2004	Se acuerda el Programa de trabajo de Buenos Aires sobre las medidas de adaptación y de respuesta en la CP 10.
2001	Se publica el tercer informe de evaluación del IPCC. Se adoptan los acuerdos de Bonn siguiendo el Plan de Acción de Buenos Aires de 1998. Se adoptan los Acuerdos de Marrakech en la CP 7, que detallan las reglas para poner en práctica el Protocolo de Kioto.
1997	Se adopta oficialmente el Protocolo de Kioto en la CP 3 en diciembre.
1996	Se establece la secretaría de la Convención para apoyar las acciones de la Convención.
1995	Se celebra la primera Conferencia de las Partes (CP 1) en Berlín.
1994	Entra en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
1992	El Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) adopta el texto de la Convención del Clima. En la Cumbre de la Tierra celebrada en Río, la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC) queda lista para la firma junto con el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CNUDB) y la Convención de Lucha contra la Desertificación (CNULD).
1991	Se celebra la primera reunión del CIN.
1990	Se publica el primer informe de evaluación del IPCC. El IPCC y la segunda Conferencia Mundial sobre el Clima solicitan un tratado mundial sobre el cambio climático. Comienzan las negociaciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas en torno a una convención marco.
1988	Se establece el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
1979	Se celebra la primera Conferencia Mundial sobre el Clima.

un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo. Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar

la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida. La Convención estaba lista para firmar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que



se celebró en 1992 en Río de Janeiro, conocida como Cumbre de la Tierra.

Hoy en día el IPCC tiene una función claramente establecida, la de examinar las investigaciones realizadas en todo el mundo, publicar informes periódicos de evaluación (hasta ahora han sido cinco) y elaborar informes especiales y documentos técnicos sobre aspectos específicos requeridos por la Convención. Esto permite que la ciencia informe las discusiones políticas que se toman en el marco de la Convención.

## EL ACUERDO DE PARÍS

En París en 2015 se dio un gran paso adelante en las negociaciones multilaterales sobre cambio climático. Se fijó el objetivo de mantener las temperaturas medias globales “muy por debajo” de 2 °C respecto a los niveles pre-industriales en primera instancia y llevar a cabo “todos los esfuerzos posibles” para evitar que dicha temperatura no rebase los 1,5 °C y así, evitar los impactos más dañinos, en especial en los países más vulnerables. El acuerdo, que es jurídicamente vinculante para las partes que lo ratifiquen, implica que “todos” los países fijarán sus propias metas voluntarias de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) que deberán revisar siempre al alza. El acuerdo es sin duda un paso en la lucha contra el cambio climático, aunque lo que para algunos es un punto de inflexión histórico y claro contra la lucha contra el cambio climático, para otros ha sido un fracaso enorme al no fijar metas ambiciosas absolutas en el propio acuerdo.

Uno de los grandes avances de este acuerdo es en primer lugar su **universalidad**, dado que todos los países que ratifiquen presentarán sus compromisos de reducción (en el Protocolo de Kioto solo los tienen los países desarrollados, inscritos en el Anexo B del Protocolo). Antes de París, 187 de 195 países cubriendo lo que totaliza un 95% de las emisiones globales, presentaron sus compromisos indicativos o contribuciones nacionales (INDC, por sus siglas en inglés *Intended Nationally Determined Contributions*). La universalidad representa un gran avance, ya que uno de los grandes problemas del Protocolo de Kioto era precisamente que solo los países desarrollados (Anexo B del Protocolo) se comprometían a reducir sus emisiones. Ha quedado demostrado que no solo no ha servido para que las emisiones globales se redujeran, sino que ha ocasionado el fenómeno de lo que se conoce como fuga de C, dado que las emisiones se desplazan de países que tenían un compromiso de reducción de emisiones a países que no se habían comprometido, en parte debido a que una mayor parte de la producción de sus bienes de consumo se produce en los segundos (Arto y Dietzenbacher, 2014).

También se considera muy positivo que se haya diluido el principio de responsabilidad común, pero diferenciada, aunque cada país ha de establecer sus contribuciones de reducción de GEI (**diferenciación**) y los debe revisar al alza cada 5 años (empezando en 2023) a través de sus INDC. Dichas contribuciones (UNFCCC, 2015a) comprometen a que cada país establezca un sistema de políticas climáticas y, procesos vinculantes en relación a las mismas. Se ha puesto también un énfasis especial para que los

COP21, sesión final, París.  
A) Podium después de la decisión y B) Plenario momentos antes.

países consideren dentro de sus políticas los aspectos transversales de gobernanza a todos los niveles y escalas.

El acuerdo establece que en 2050 las emisiones toquen techo y se alcance un equilibrio entre emisiones y absorciones. Los análisis recientes de los INDC sugieren que el nivel de ambición que representan los que se han presentado antes de París no va a ser suficiente para mantener la temperatura media global por debajo de los 2 °C, se estima que ello nos llevaría a un incremento aproximado de 3.5°C (UNEP, 2015). Pero se contempla que los países revisen sus INDC cada 5 años siempre incrementando su nivel de ambición.

Otro punto importante es el compromiso por parte de “todos” los países de reportar y de un seguimiento **transparente**. Hasta hace poco las Comunicaciones Nacionales y los Inventarios de GEI constituían las únicas herramientas para seguir el progreso de las acciones de los países, y tenían una cadencia y régimen de evaluación o revisión muy diferente para países del Anexo I y los que estaban fuera de él (implicando diferencias entre países desarrollados y países en vías de desarrollo). Esto cambió recientemente con un nuevo instrumento para todos los países, los llamados “Reportes Bi-anales” (BUR por sus siglas en inglés), que a partir del primero implican que cada dos años se debe enviar uno (con la excepción de países insulares pequeños o los que entran en la categoría de países muy poco desarrollados) y que son sometidos a un proceso de evaluación (ICA por sus siglas en inglés, *International Consultative Analysis*). El Acuerdo de París va más allá, confirma la necesidad de los BUR y su evaluación, pero formaliza el proceso de presentación de los INDC y su revisión al alza en ciclos de 5 años, en el contexto de transparencia absoluta que permita determinar si estamos cumpliendo el objetivo común de mantenernos por debajo de los 2°C.

Se contempla la posibilidad de **mecanismos de facilitación** para ayudar a los países que necesitan ayuda, bien por no estar en la senda pre-

vista, o para aquellos países con compromisos más ambiciosos. Ello con el objetivo último de que la cooperación facilite alcanzar el objetivo común lo antes posible. Esto es, dentro de la flexibilidad que puedan tener los países para determinar sus objetivos para la reducción de emisiones se prevé que puedan cooperar para llegar a los objetivos de mitigación climática a través, por ejemplo, de usar mecanismos de mercado (compraventa de emisiones) u otros mecanismos de flexibilidad (p. e. cooperación bilateral, un mecanismo para el apoyo al desarrollo sostenible) para cumplir sus objetivos.

Pero no solo se observan avances en el ámbito de la mitigación, el Acuerdo pone en valor la importancia de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, estableciendo un objetivo global de aumento de la capacidad de **adaptación** y reducción de la vulnerabilidad. La adaptación debe definirse a nivel de país valorando cuestiones transversales. Los países han de participar en los procesos de planificación, así como presentar y actualizar periódicamente comunicaciones sobre adaptación.

Por primera vez, existe un reconocimiento de la necesidad de poner en marcha un Mecanismo de pérdidas y daños asociados a los efectos más adversos del cambio climático pero no se detalla ninguna herramienta financiera concreta para abordarlo y no reconoce la responsabilidad de ninguna de las partes (por la oposición de algunos de los grandes emisores históricos).

En general en cuanto a **financiación**, el Fondo Verde se reconoce como instrumento y los países desarrollados se comprometen en el acuerdo a incrementar su contribución a la capitalización del mismo para apoyar las actividades para mitigar y adaptarse al cambio climático que los países en desarrollo necesitan movilizándolo un mínimo de 100 000 millones de dólares por año desde 2020 y se revisará esta cifra en el año 2025.

Por último, **los bosques** se reconocen como importantes en su contribución a la mitigación, incluyendo los esfuerzos por detener la defo-



Frontera entre el bosque y las plantaciones de banana, y recolección de leña para cocinar por las poblaciones adyacentes al bosque en Tanzania. Los bosques naturales están desapareciendo por la presión de otros sectores como la agricultura y se están degradando por la extracción no sostenible de recursos como su madera.

restación y degradación de los mismos, por lo que el Acuerdo respalda la continuidad de las acciones que los países en desarrollo están ya realizando bajo la Convención incorporándolos al Acuerdo, a la par que reconoce otras alternativas que combinen mitigación y adaptación y se puedan reconocer otros valores además del carbono.

## ESPAÑA EN EL CONTEXTO DE LOS ESFUERZOS BAJO LA CMCCNU

### Instrumentos en el contexto internacional

El proceso de ratificación del segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto está en marcha en la UE, con los progresos importantes en los parlamentos en todos los Estados miembros. La UE ha estado aplicando los objetivos y las normas del segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de 2013. La UE, sus 28 Estados miembros e Islandia se han comprometido a lograr en con-

junto una reducción del 20% en sus emisiones de GEI combinadas sobre el segundo periodo en comparación con el nivel en 1990 o sus otros años de base elegidos. Las medidas necesarias para para cumplir con este compromiso ya se han puesto en marcha a través del Paquete de clima y energía ya adoptado en 2009 ([http://ec.europa.eu/clima/politicas/strategies/2020/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/politicas/strategies/2020/index_en.htm)).

El Consejo de Ministros en España ha ratificado y elevado a las Cortes Generales la enmienda internacional que prorroga el Protocolo de Kioto estableciendo un nuevo periodo de compromiso de reducción de emisiones de GEI para luchar contra el cambio climático, a propuesta del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, y tras ser elevado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. La llamada “Enmienda Doha” (fue acordada en la Cumbre de Doha 2012), que fue ratificada por el Consejo de Ministros en julio de 2015, da continuidad al marco jurídico e institucional del Protocolo de Kioto, estableciendo un nuevo

periodo de compromiso que se extiende hasta el 31 de diciembre de 2020, y que incluye nuevos compromisos de reducción de emisiones de GEI, jurídicamente vinculantes. Este segundo periodo de compromiso entrara en vigor si se completa el proceso de ratificación de las partes necesario y supone un compromiso de reducción de emisiones contaminantes de un 20%, como promedio a lo largo de 2013-2020, respecto al año de referencia (1990).

La UE y sus países miembros se espera depositen sus instrumentos de ratificación conjuntamente para el segundo período de compromiso del Protocolo y ratifiquen el Acuerdo de París a lo largo de 2016. Habrá que ver si es hay suficientes partes dispuestas a ratificar para garantizar su entrada la entrada en vigor del segundo periodo del Protocolo o por el contrario si los países se concentraran solamente en el Acuerdo de París.

En cualquiera de los casos el compromiso de España se engloba dentro del compromiso de la UE, que respecto al Acuerdo de París como una Parte de la convención, ha presentado un solo INDC. Los países miembros, que de forma individual también son Partes no han presentado INDC individuales. Así, la UE en sus compromisos iniciales (UNFCCC, 2015b), se compromete en su INDC a una reducción de las emisiones conjuntas de al menos un 40% para 2030 con respecto 1990. Este objetivo representa un avance importante respecto al objetivo de reducción del 20 % contemplado para el segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto anunciado por la UE. No está claro si este compromiso incluye el sector de Uso de la Tierra, Cambios de Uso de la Tierra y silvicultura (UTCUTS).

### **Tendencias de las emisiones en la UE y España**

La UE ha logrado desacoplar las emisiones de GEI con su crecimiento económico, seguramente en parte con un cierto grado por el desplazamiento de algunas de sus actividades responsables fuera de sus fronteras. Así, en su

conjunto ha disminuido 19% respecto los niveles de emisiones de 1990 mientras que su producto interno bruto (PIB) ha crecido más del 44% (desde 1990 hasta 2012: UNFCCC, 2015b). En el caso de España para el año 2012 por ejemplo, según estadísticas nacionales, mientras que el PIB habría crecido aproximadamente un 50%, las emisiones de GEI lo habrían hecho en aproximadamente un 18%. Las emisiones *per cápita* en 2014 incluyendo los sumideros del sector LULUCF fueron de aproximadamente 6.2 t CO<sub>2</sub>-eq (valor propio calculado a través de estadísticas de población e inventarios de emisiones), lo cual haría que en este sentido estaría dentro de la senda que la UE ha proyectado para el año 2030 de bajar hasta aproximadamente 6 t CO<sub>2</sub>-eq (UNFCCC, 2015b).

Los INDC no denotan únicamente la ambición a nivel nacional, sino que reflejan en gran medida la visión de cada país en cuanto a la transformación de su economía y sociedad hacia un sistema bajo en carbón y más resiliente. Así, es importante mirar al contenido de los INDC, pero también a sus implicaciones de carácter más amplio en relación a su capacidad de cooperación internacional. España en concreto propone como medida doblar sus compromisos de financiación climática para el período 2015-2020. Para alcanzar este objetivo de reducción habrá, sin duda, que repartir los esfuerzos en diferentes tipos de medidas. Dentro de los instrumentos más importantes que van a articular nuestras políticas y medidas y que luego hay que informar, seguiremos teniendo un comercio de emisiones para los sectores energéticos e industriales que en estos momentos suponen alrededor del 40 % de las emisiones. Se está estudiando, no obstante, una reforma del existente comercio de emisiones en la UE. Dentro de los sectores difusos, que representan el restante 60% de las emisiones europeas y donde entran las emisiones provenientes de los hogares, los servicios, la agricultura, los residuos y el transporte, se presentará en este primer semestre de 2016 un nuevo borrador con el plan de cómo se van a conseguir las reducciones en emisiones. Es importante recalcar que la UE en



La gestión agrícola puede contribuir a la mitigación del cambio climático. Foto: Agustín del Prado.

Tabla 2. Algunas metas e iniciativas políticas claves dentro del INDC de la UE

Meta/iniciativa en políticas clave	Medidas a implementar (fecha estimada de la propuesta legislativa hecha por la Comisión Europea (CE))
Para 2030 la UE ha de consumir al menos un 27% de su energía proveniente de energías renovables	Paquete de energía renovable/nueva Directiva sobre energía renovable (2016-2017)
Para 2030 la UE debe tener al menos una mejora en la eficiencia energética del 27% respecto al año 2005	Revisiones de las Directivas sobre eficiencia energética (2016), energía en edificios (2016), labelling energético y ecodiseño (2015) y regulaciones sobre CO <sub>2</sub> en coches/caravanas (2016-17)
Para 2030 la UE debe reducir de sus sectores-ETS al menos un 43% de sus emisiones GEI con respecto al año 2005. Esta meta incluye una reducción lineal de las emisiones de 2.2% por año	Revisión de la Directiva europea sobre comercio de emisiones (ETS) (2016)
Para 2030 los sectores-no-ETS deben de reducir un 30% sus emisiones de GEI con respecto al año 2005	Propuestas legislativas sobre compartir decisiones en esfuerzos para alojar las metas vinculantes de sectores no-ETS para cada Estado miembro (2016)

su INDC ha especificado de antemano que la reducción en emisiones no utilizará créditos de carbono internacionales (UNFCCC, 2015b).

Dentro de las políticas europeas existen ya algunas iniciativas para la contribución de la UE a las metas propuestas dentro del sistema de comercio de emisiones (*Emissions Trading System*, ETS en inglés) y los sectores no-ETS. Algunas de ellas las indicamos en la Tabla 2 (Dröge y col., 2015).

### ¿QUÉ IMPLICA EL ACUERDO PARA LOS SECTORES EN ESPAÑA RELACIONADOS CON LA AGRICULTURA, SISTEMAS FORESTALES Y LOS USOS DE LA TIERRA (AFOLU)?

España, a través del INDC de la UE, no especifica nada sobre las políticas climáticas de cómo o si incluir el sector UTCUTS dentro del marco de reducción de emisiones de GEI de 2030 del 40%. No obstante, establece el plazo para implantar dichas políticas tan pronto como las condiciones técnicas le permitan y necesariamente antes del año 2020. Dependiendo de la metodología que se utilice, este cálculo pudiera estar sujeto a una gran incertidumbre. Tampoco se especifica qué medidas se van a poner en práctica para adaptar su sector UTCUTS y Agricultura (conocidos también como AFOLU por sus siglas en inglés) al cambio climático.

Las proyecciones climáticas del IPCC indican que en la región mediterránea (en la que se encuentra España) experimentará un incremento de sus temperaturas y menores precipitaciones anuales. Los veranos serán más calurosos y secos, y por tanto, se podrán incrementar los períodos de sequía estivales y aparecer con una mayor frecuencia eventos climáticos extremos como inundaciones o granizo. Estos cambios en el clima se prevén que tengan un impacto importante en el sector primario en los sistemas de cultivos, ganadería y sector forestal. El período de crecimiento de las plantas podría también sufrir cambios, la disponibilidad de agua sería menor, afectando negativamente a los rendimientos. Los daños podrían paliarse, si se ponen en marcha medidas de adaptación, en los sistemas mediterráneos más vulnerables (p. e. aquellos más dependientes de la disponibilidad de agua o más sensibles a cambios bruscos ambientales).

La agricultura, sistemas forestales y los usos de la tierra (AFOLU) representan sectores no-ETS muy singulares ya que no solo pueden verse afectados muy dramáticamente por el cambio climático, sino que además de ser fuente de emisiones de GEI y la mitigación potencial puede derivarse de la reducción de las emisiones de GEI, a la vez, pueden representar una oportunidad para el secuestro de carbono.

Según el último informe del IPCC (Smith y col., 2014) el sector AFOLU es responsable de apro-



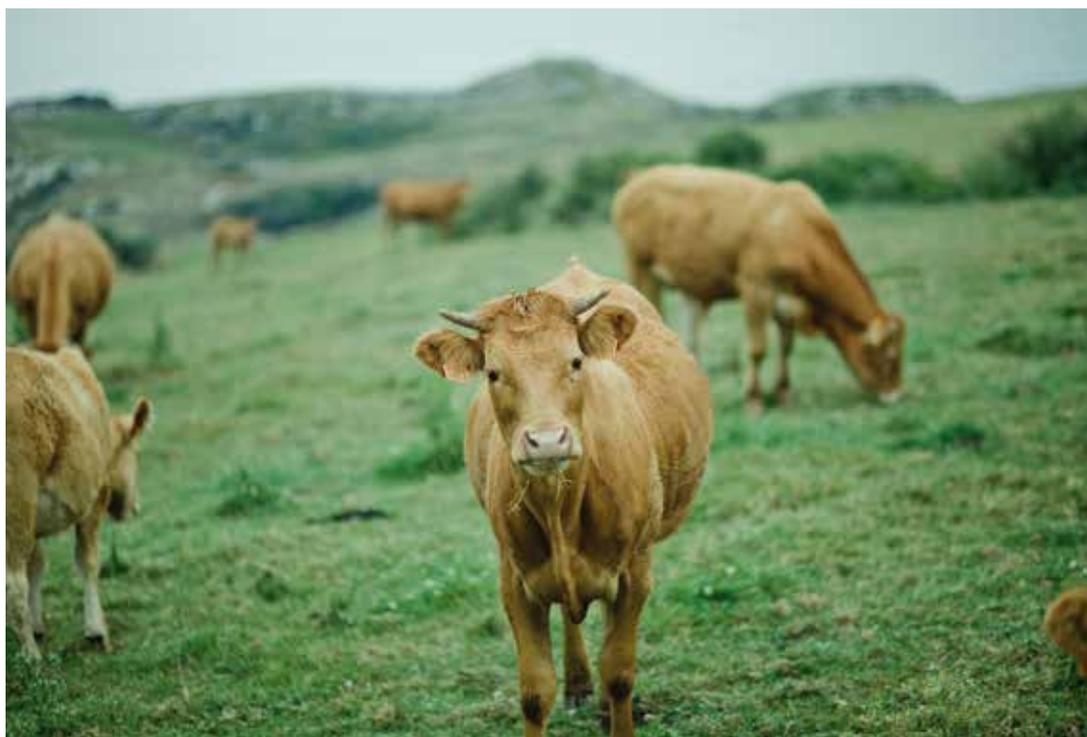
ximadamente las emisiones de 10-12 Gt CO<sub>2</sub>-eq/año globalmente, lo cual representa entre un 20-24% del total de las emisiones GEI producidas por el hombre. Solo el sector energético produce globalmente más emisiones GEI. Las principales actividades emisoras son la deforestación y las emisiones agrícolas provenientes de la ganadería, las tierras y el manejo de los nutrientes. Mientras que en los últimos años se ha observado un decrecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los sistemas forestales y usos de la tierra (AFOLU o UTCUTS) debido principalmente a la disminución de la de la tasa de deforestación, las emisiones provenientes de la agricultura y ganadería han crecido, especialmente en los países en desarrollo. En España, por ejemplo para el año 2014 y según inventarios oficiales, emitió en el sector agrícola 40 Mt CO<sub>2</sub>-eq, lo cual representa aproximadamente el 14% de las emisiones totales de GEI antropogénicas. La mayor parte de estas emisiones de GEI están vinculadas a las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) provenientes de la ganadería y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) proveniente de la aplicación de fertilizantes en las tierras. El sector AFOLU o UTCUTS (sistemas forestales principalmente) actuó de sumidero, estimándose aproximadamente una acumulación neta de C de aproximadamente 34 Mt CO<sub>2</sub>-eq.

El acuerdo de París supone una oportunidad para intentar introducir políticas a nivel europeo o estatal que puedan ayudar a reducir el impacto del sector agrícola en la generación de GEI y que favorezcan prácticas de secuestro de carbono. Hay numerosos estudios (p. e. Vermont y De Cara, 2010) que ya han indicado que hay un potencial considerable de mitigación en la agricultura europea a través de instrumentos políticos de mercado de emisiones. También, a través de políticas de reducciones voluntarias.

Según informes de la Comisión Europea (CE), (2011) el sector agrícola necesita reducir sus emisiones cerca del 36% para 2030 y entre 42-49 % para 2050. Desde 1990 hasta 2011 ha habido una reducción ya del 22%. Sin embargo, esta reducción de emisiones de GEI en la agricultura europea ha tenido lugar en gran medida como resultado de una reducción de las cabezas ganaderas y a través de la disminución en uso de fertilizantes nitrogenados siguiendo las medidas de la Directiva de Nitratos en sus planes de acción (Velthof y col., 2014). La última reforma de la Política Agrícola Europea (PAC), aunque representa un esfuerzo importante para la disminución del impacto medioambiental de la agricultura europea, solo ha introducido pe-

Un porcentaje de las emisiones producidas por la agricultura se deben al óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) proveniente de la aplicación de fertilizantes en las tierras. Foto: Agustín del Prado.

La mayor parte de estas emisiones de GEI están vinculadas a las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) provenientes de la ganadería. Foto: Agustín del Prado.



queños elementos en relación a la protección del clima a través del fomento de los pastos permanentes y por tanto, intentando mejorar el potencial secuestro de carbono en el suelo (Del Prado y col., 2014).

Científico-técnicamente, dentro del contexto de la aparición de una red científica a nivel de España específica sobre mitigación de GEI en los sectores agrícolas, ganaderos y forestales (RED REMEDIA: <https://redremedia.wordpress.com/>), existe ya un conocimiento consolidado sobre las diferentes medidas posibles para poder introducirlos con cierta confianza sobre su eficiencia potencial (Alvaro-Fuentes y col., en prensa ; Aguilera y col., 2013ab; Lassaletta y Del Prado., 2013; Lassaletta y col., en prensa; Sanz-Cobeña y col., *en prep*). También hay conocimiento sobre la rentabilidad de dichas medidas para los agricultores, su efectividad y sobre qué políticas podrían favorecer su aplicación (Sánchez y col., en prensa; Sanchez y col., 2016). Las medidas de mitigación, si se introdujeran en España, han de tener un reflejo en los inventarios nacionales de GEI para que puedan contabilizarse como reducciones de

GEI en los informes que cada país ha de desarrollar y enviar a la CMCCUM. Por tanto, sería conveniente que parte de los esfuerzos a este nivel se encaminara en la mejora de dichos inventarios en el sector AFOLU. Como ejemplo, Aguilera y col. (2013b), en un meta-análisis donde sintetizaban los datos experimentales de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  en cultivos en el área mediterránea, indicaron que el factor con el que se está cuantificando las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  en los cultivos en España a través de los inventarios es 12 veces mayor (1% del total N en fertilizante) que el valor medio encontrado en la literatura (0.08%) para cultivos en secano. Como ejemplo ilustrativo, para el año 2009 y asumiendo una fertilización de 40 kg N/ha año media en el cereal español en secano (5 millones de hectáreas), utilizando el factor corregido en los inventarios de España resultaría en una estimación de 0.8 Mt  $\text{CO}_2\text{-eq}$  menos que usando el factor por defecto. Lo que ilustra la importancia de los inventarios y sus mejoras.

Respecto al sistema agroalimentario y siguiendo las conclusiones del último informe del IPCC (Smith y col., 2014) habría que intentar,

no solo enfocar sobre las medidas de mitigación que afectan directamente a los productos, sino también aquellas que tienen que ver con la demanda (consumo, desperdicio). En los últimos tiempos se han venido haciendo diferentes estudios para analizar por ejemplo el efecto de introducir nuevos impuestos en determinados alimentos asociados directamente a la salud (p. e. azúcares, grasas...) y que tienen una repercusión indirecta en la huella de carbono de nuestras dietas (p.e. Garcia-Muros y col., en revision). 🌱

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., Gimeno, B.S., 2013a. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems. A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 168, 25-36.
- Aguilera, E., Lassaletta, L., Sanz-Cobena, A., Garnier, J. y Vallejo, A. 2013b. The potential of organic fertilizers and water management to reduce N<sub>2</sub>O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 164, 32-52.
- Álvaro-Fuentes, J., del Prado, A. y Yañez-Ruiz, D. en prensa. Greenhouse gas mitigation in the agricultural sector in Spain. *Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change*. DOI (10.1007/s11027-014-9596-x).
- Arto, I., y Dietzenbacher, E. 2014. Drivers of the growth in global greenhouse gas emissions. *Environmental science and technology* 48.10 (2014): 5388-5394. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es5005347>.
- Comisión Europea (CE). 2011. A roadmap for moving a competitive low carbon economy in 2050. Brussels: European Commission. [http://www.eurosfair.prd.fr/7pc/doc/1301390517\\_sec\\_2011\\_288\\_en.pdf?PHPSESSID=37017def05283d1b43b99f1aa9384067](http://www.eurosfair.prd.fr/7pc/doc/1301390517_sec_2011_288_en.pdf?PHPSESSID=37017def05283d1b43b99f1aa9384067).
- Del Prado, A., Mosquera-Losada, R.M., y Bardaji, I. 2014. Oportunidades y retos de los pastos frente a la nueva PAC en un contexto de cambio climático. 53 Reunión científica de la SEEP, 9-12 June 2014, Potes (Cantabria, Spain). <http://www.pastoscantabria2014.es/textos/presentaciones/ponencia1.pdf>.
- Dröge, S., Spencer, T., Deprez, A., Gallagher, L., Gradziuk, A., Marcu, A., Oberthür, S., Sartor, O., Waisman, H. y Wyns, T. 2015. The EU's INDC and its contribution to a successful deal in Paris 2015. Working Paper FG 8, 2015/03 June 2015 SWP Berlin. [https://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/arbeitspapiere/Droege\\_et\\_al2015-The\\_EU\\_s\\_INDC\\_and\\_its\\_contribution\\_to\\_a\\_successful\\_deal\\_in\\_Paris.pdf](https://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/arbeitspapiere/Droege_et_al2015-The_EU_s_INDC_and_its_contribution_to_a_successful_deal_in_Paris.pdf).
- García-Muros, X., Markandya, A., Romero-Jordan, D. and Gonzalez-Eguino, M. en revision. The distributional effects of carbon-based food taxes.
- Lassaletta, L., Aguilera, E., Sanz-Cobena, A., Pardo, G., Billen, G., Garnier, J., y Grizzetti, B. en prensa. Outsourcing of N<sub>2</sub>O emissions of Spanish agro-food system in the period 1961-2009. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11027-014-9569-0>.
- Lassaletta, L. y del Prado, A. 2013. Efectos del comercio internacional de alimentos y piensos y de los cambios de dieta humana en la seguridad alimentaria y ambiental: integración de escalas. BC3 Policy Briefings [www.bc3research.org/policy\\_briefings/downpublies\\_2.html](http://www.bc3research.org/policy_briefings/downpublies_2.html).
- Sánchez, B., Álvaro-Fuentes, J., Cunningham, R. y Iglesias, A. en prensa. Towards mitigation of greenhouse gases by small changes in farming practices: understanding local barriers in Spain. *Mitigation Adaption Strategies for Global Change* 1-34 (2014). doi: 10.1007/s11027-014-9562-7.
- Sánchez, B., Iglesias, A., McVittie, A., Álvaro-Fuentes, J., Ingram, J., Mills, J., Lesschen, J. P. y Kuikman, P. J. 2016. Management of agricultural soils for greenhouse gas mitigation: Learning from a case study in (NE) Spain. *Journal of Environmental Management*, 170: 37-49. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300032>.
- Sanz-Cobena, A., Lassaletta, L., Aguilera, E., Garnier, J., Billen, G., Iglesias, A., Sanchez, B., del Prado, A., Guardia, G., Abalos, D., Plaza, D., Puigdueta, I., Moral, R.J., Galán, E., Infante-Amate, J., Arriaga, H.I., Merino, P., Mejjide, A., Pardo, G., Alvaro-Fuentes, J., Gil Sanz-Rey C., Báez, D., González, S., Cayuela, M. L., Doltra, J., Menendez, S., Diaz-Pines, E., Le-Noe, J., Quemada, M., Estellés, F., Calvet, S., van Grinsven, H., Yañez, D.v Westhoek, H., Sanz, M.J., Vallejo, A., Sánchez-Jimeno, B. y Smith, P. in prep. Strategies for GHG mitigation in Mediterranean cropping systems. A review. *Agricultural Ecosystems And Environment*.
- Smith P, Bustamante M., Ahammad, H. Clark, H. Dong, H. Elsiddig, E., AHaberl, . H., Harper, R., House, J., Jafari, M. Masera, O. Mbow, C., Ravindranath, N.H., Rice, C.W., Robledo- Abad C., Romanovskaya, A. Sperling, F y Tubiello, F. 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- UNEP 2015. Emissions Gap Report, 2015. Nairobi. [http://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/EGR\\_2015\\_301115\\_lores.pdf](http://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/EGR_2015_301115_lores.pdf).
- UNFCCC. 2015a. INDCs as communicated by Parties. <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>.
- UNFCCC. 2015b. EU Submits its Climate Action Plan ahead of Paris 2015 Agreement. <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Latvia/1/LV-03-06-EU%20INDC.pdf>.
- Velthof, G. L. Lesschen, J. P., Webb, J., Pietrzak, S., Miatkowski, Z., Pinto, M., Kros, J., y Oenema O. 2014. The impact of the Nitrates Directive on nitrogen emissions from agriculture in the EU-27 during 2000-2008. *Science of The Total Environment*, vol. 468-469, pp. 1225-1233.
- Vermont B., y De Cara S. 2010. How costly is mitigation of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions from agriculture?: A meta-analysis. *Ecological Economics*, vol. 69, no. 7, pp. 1373-1386.

# Costes y beneficios de la adaptación al cambio climático en el sector del turismo de nieve en España<sup>1</sup>

Luis Miguel Campos Rodrigues, Jaume Freire-González,  
Aina González Puig e Ignasi Puig-Ventosa

Fundació ENT, Vilanova i la Geltrú (Barcelona)

Las zonas de alta montaña constituyen uno de los sistemas más vulnerables al cambio climático (OECC-UCLM, 2005), estando los principales efectos asociados a cambios en los patrones de temperatura atmosférica (p.e. incremento de los valores medios anuales, reducción del número de días bajo cero) y de precipitación (p.e. reducción de la media anual). Estos efectos pueden tener posibles consecuencias en relación a la reducción del espesor y de la superficie cubierta de nieve (IPCC, 2013).

Uno de los sectores económicos más vulnerables a la menor disponibilidad de nieve natural es el turismo de nieve en su vasto conjunto de actividades recreativas, donde se incluyen esquí alpino, esquí de fondo o snowboard. La mayoría de los estudios realizados en el contexto de zonas de montaña (p.e. Steiger y Abegg, 2013; para los Alpes; Scott *et al.*, 2003; 2007 para Canadá; Dawson *et al.*, 2013 para EE UU; y Hendrikx *et al.*, 2012 para Nueva Zelanda) sugiere que el cambio climático conllevaría un

impacto negativo en la duración de la temporada de esquí, en la reducción de zonas esquiabiles y una disminución del número de esquiadores tanto en estaciones de baja altitud como de baja latitud.

El sector de turismo de invierno lleva aplicando desde hace algunas décadas estrategias para aumentar la disponibilidad de nieve natural, siendo la innivación artificial una de las medidas más adoptadas. La nieve artificial es considerada como un recurso indispensable para mantener la regularidad de oferta de días con nieve en las estaciones y así reducir la inseguridad del negocio (Clarimont, 2008). Sin embargo, esta medida es a menudo objeto de críticas asociadas al potencial impacto ambiental y social, además de ser discutida su viabilidad en escenarios más extremos y para zonas más vulnerables. Además de este tipo de actuación, la adaptación de los centros invernales al cambio climático puede comprender diversas medidas, entre ellas, la diversificación de actividades recreativas, la protección y conservación de los recursos nivales, el monitoreo sistematizado de indicadores meteorológicos y climáticos, o incluso el propio cambio de modelo económico del territorio de las estaciones de invierno.

<sup>1</sup> El estudio que resume el presente artículo fue realizado en el marco de la "Convocatoria de la concesión de ayudas en régimen de concurrencia competitiva, para la realización de actividades en el ámbito de la biodiversidad, el cambio climático y el desarrollo sostenible en el ejercicio 2014" de la Fundación Biodiversidad (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

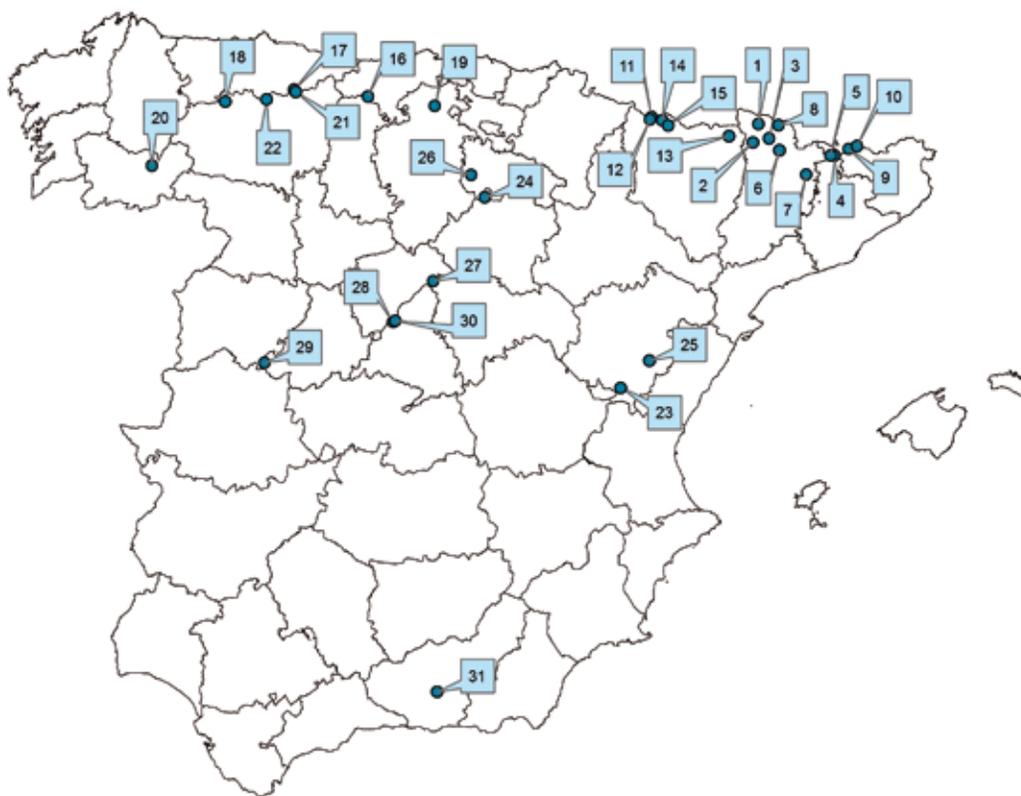


Figura 1.  
Mapa de las  
estaciones de  
esquí alpino  
de España.

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: Pirineo Catalán (PC): 1. Baqueira Beret; 2. Boí Taüll; 3. Espot Esquí; 4. La Molina; 5. Masella; 6. Port Ainé; 7. Port del Comte; 8. Tavascán; 9. Vall de Núria; 10. Vallter 2000; Pirineo Aragonés (PA): 11. Astún; 12. Candanchú; 13. Cerler; 14. Formigal; 15. Panticosa; Cordillera Cantábrica (CC): 16. Alto Campoo; 17. Fuentes de Invierno; 18. Leitariegos; 19. Lunada; 20. Manzaneda; 21. San Isidro; 22. Valgrande-Pajares; Sistema Ibérico (SI): 23. Javalambre; 24. Punto de Nieve Santa Inés; 25. Valdelinares; 26. Valdescaray; Sistema Central (SC): 27. La Pinilla; 28. Puerto Navacerrada; 29. Sierra de Béjar; 30. Valdesquí; Sistema Penibético (SP): 31. Sierra Nevada.

Este artículo presenta un análisis de los impactos del cambio climático en zonas de turismo de invierno de España, centrándose en la descripción de medidas de adaptación posibles de adoptar, y un análisis coste-beneficio según varios escenarios climáticos para dos medidas de adaptación: el aumento de la innivación artificial y la ampliación de horarios de actividad.

## EL TURISMO DE NIEVE DE ESPAÑA

Este artículo se centra en el análisis de 31 estaciones de esquí alpino de España, ubicadas en seis zonas montañosas: la Cordillera Cantábrica, el Pirineo Aragonés y Catalán, y los Sistemas Central, Ibérico y Penibético (Figura 1).

Las estaciones están comprendida entre cotas mínimas y máximas de 1655 y 2257 m. En total, estaban disponibles 1083 pistas en la temporada 2014/2015, representando aproximadamente 1150 km esquiables y una capacidad total de 470 583 esquiadores por hora. Para las estaciones de que se disponen datos (25 estaciones), en la temporada anterior (2013/2014) se vendieron un total de 4,6 millones de *forfaits*. En cuanto a la producción de nieve artificial, se inniva, como media, un 44,5% de la superficie total esquiable de las estaciones, en un total de 394,8 km.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Fuentes: ATUDEM (2014), con excepción de los datos referentes al número de *forfaits* vendidos que tuvo como fuente <http://www.nevasport.com/noticias/art/43268/Ranking-de-estaciones-de-la-peninsula-por-forfaits-vendidos-2013-2014> [29/01/2016] y la información sobre número de km innivados que, además de ATUDEM (2014), contó con la fuente <http://www.lugaresdenieve.com/?q=es/estacion/valdesqui> [29/01/2016] para la estación de Valdesquí.

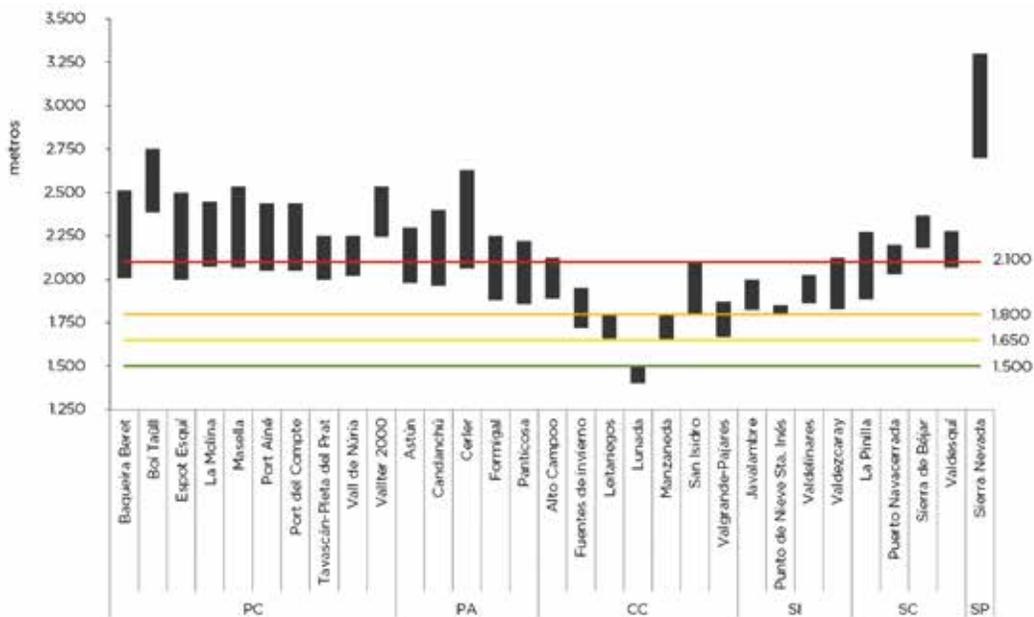


Figura 2. Viabilidad de las estaciones de esquí alpino según escenarios climáticos (metros).

Fuente: Elaboración propia basada en Abegg et al. (2007).  
 Legenda: La línea verde representa el momento actual, mientras que las restantes líneas indican tres escenarios climáticos: subida de 1°C (amarilla), 2°C (naranja) y 4°C (roja).

### VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las proyecciones presentadas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2013) indican la posibilidad de un incremento gradual de temperatura media global de entre 1°C y 3,7°C hasta el final del siglo.<sup>3</sup> Otros efectos mencionados en este informe susceptibles de afectar el sector de turismo de nieve, son la reducción del nivel de precipitación así como de la cobertura de nieve.

En cuanto a proyecciones regionalizadas para España disponibles en la Agencia Estatal de Meteorología,<sup>4</sup> todas las Comunidades Autónomas (CC AA) asociadas a las estaciones de esquí presentan una tendencia de incremento de la temperatura mínima de invierno y una reducción del número de días de helada. Este último indicador puede llegar a representar una reduc-

ción de más de 45 días para algunas CC AA según el escenario climático más extremo (p.e. Aragón y Castilla y León). En cuanto a cambios en los valores medios de precipitación en invierno, las proyecciones son menos acentuadas en comparación con los indicadores anteriores. Sin embargo, en general se observa una ligera tendencia de reducción en los valores de precipitación de cara a finales del siglo.

El desarrollo de actividades recreativas de invierno es posible en gran medida gracias a la disponibilidad de nieve. Según Pons *et al.* (2014), se considera una estación viable cuando hay la presencia de un manto de nieve de un mínimo de 30 cm de espesor durante 100 días.

La disponibilidad de nieve natural que verifique la condición anterior depende, entre otros factores, de la altitud de las estaciones de esquí. Tomando como referencia las líneas de altitud del clima alpino de influencia mediterránea definidas en Abegg *et al.* (2007) se realizó un análisis de vulnerabilidad de las estaciones de esquí de España. La Figura 2 presenta el momento actual (línea verde) y tres escenarios que contemplan la subida de 1°C (línea amarilla), 2°C (línea naranja) y 4°C

<sup>3</sup> IPCC (2013) presenta posibles cambios en varios indicadores climáticos según distintos escenarios de emisión designados como Sendas Representativas de Concentración (RCP en inglés), en concreto, el RCP 2,6 (421 ppm en 2100), RCP 4,5 (538 ppm en 2100), RCP 6,0 (670 ppm en 2100) y el RCP 8,5 (936 ppm en 2100).

<sup>4</sup> [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/) [16/12/2015].

Tabla 1. Medidas de adaptación de las estaciones de esquí al cambio climático

Medidas de adaptación	
Producción de nieve artificial	Red de cañones de innivación
	Red de suministro de agua
	Insumo de energía eléctrica
Innovación tecnológica	Menor insumo de agua por m <sup>3</sup> de nieve producida
	Menor insumo de energía eléctrica por m <sup>3</sup> de nieve producida
	Posibilidad de innivar a temperaturas más elevadas
Protección y conservación de los recursos nivales	Protección de vientos laterales
	Operaciones de drenaje de aguas de ladera
	Modificación de la inclinación de las pistas
	Protección de avalanchas
	Reducción del número de esquiadores por hora
	Contratación de servicios para rentabilizar la cobertura de nieve
	Protección de la cobertura de nieve
Monitoreo meteorológico y climático	Análisis regular de variables meteorológicas y climáticas y proyecciones climáticas
Diversificación de productos de nieve	Oferta de más actividades recreativas vinculadas a la nieve (p.e. toboganes, parques temáticos)
Ampliación de horarios de actividad de esquí	Oferta de diversas actividades nocturnas aprovechando los recursos nivales
Ampliación del área esquiabile	Expandir el área de las estaciones a zonas de mayor altitud o a vertientes montañosas con menor escasez de nieve natural
Medidas de carácter asistencial y soluciones de gestión	Subvenciones
	Seguros
	Desgravaciones fiscales
	Intervención de estaciones y conversión a gestión pública
	Gestión integrada de carácter privado o público
Reconversión a estaciones de montaña	Oferta de actividades recreativas y de ocio, bajo una reconversión a estaciones de montaña que operan durante todo el año
Replanteamiento del modelo económico local	Apuesta por otros sectores económicos de montaña en las zonas de las estaciones de esquí
Estrategias de marketing	Desarrollar nuevas estrategias comerciales para atraer clientes en un contexto de cambio climático y elevada competencia entre estaciones

Fuente: Elaboración propia.

(línea roja). Los valores de altitud representan la mitad superior del rango total de la estación. Si este rango está por encima de las líneas de viabilidad se considera que la estación es viable.

Según este tipo de análisis, las estaciones de Sierra Nevada, Boí Taull, Vallter 2000 y Sierra de Béjar son viables para todos los escenarios considerados. Por el contrario, la estación de Lunada se presenta como inviable para todos los escenarios. La figura sugiere, además, que los sistemas montañosos del Pirineo Catalán y Penibético presentan un menor grado de vulnerabilidad, mientras que la Cordillera Cantábrica indica señales de mayor vulnerabilidad.

## MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Las estrategias de adaptación pueden incluir la producción de nieve artificial, innovación tecnológica, protección y conservación de recursos nivales, monitoreo meteorológico y climático, diversificación de actividades recreativas de nieve, ampliación horaria de actividad de esquí, ampliación del área esquiabile, reconversión de las estaciones de esquí a estaciones de montaña, replanteamiento del modelo económico local, entre otras (Tabla 1).

Las diversas medidas conllevan costes y beneficios de orden ambiental y social. Algunos

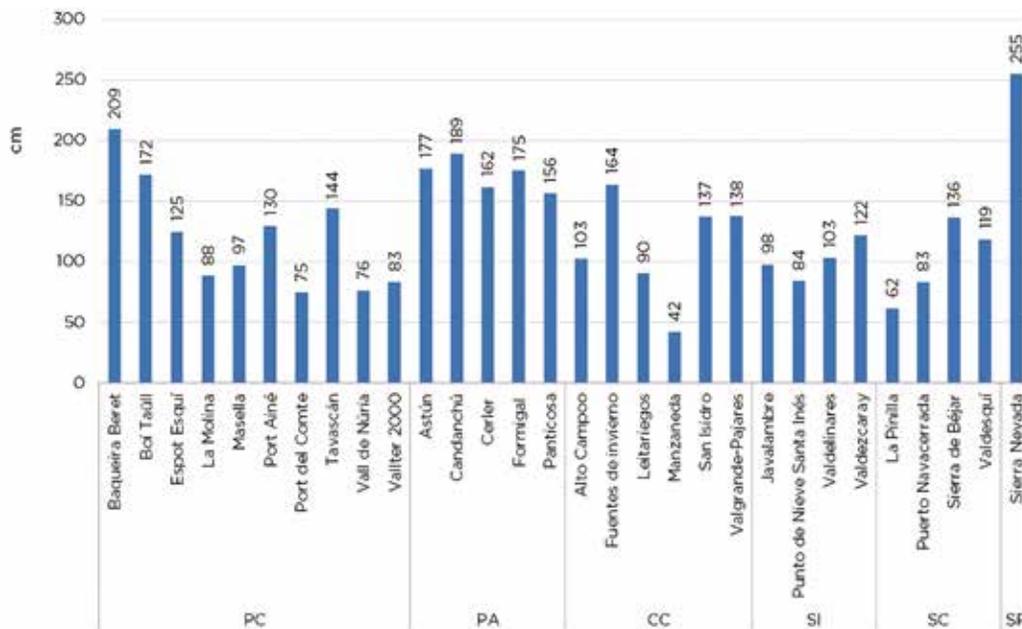


Figura 3. Valores de espesor máximo mensual medio para el periodo 2009/2010-2014/2015.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos facilitados por Infonieve.es.

ejemplos de costes incluyen: el impacto negativo sobre el balance hídrico o el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> por la mayor producción de nieve artificial y la necesidad de una mayor red de cañones de innivación; el impacto sobre la fauna y flora a consecuencia de la ampliación del área esquiable; costes de oportunidad derivados del posible desvío de recursos públicos a las estaciones de esquí, etc. Por otro lado, posibles beneficios pueden estar asociados al aumento de la seguridad de las pistas y de los practicantes con la mayor protección y conservación de los recursos nivales; la reducción de la dependencia económica y/o de la presión ambiental con la diversificación de actividades recreativas, etc.

### ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INNIVACIÓN ARTIFICIAL

Este análisis consta de dos partes. Primero se establece un escenario de referencia, donde se realiza una aproximación a la necesidad de nieve artificial actual en las estaciones de esquí, así como una comparación entre los costes de innivación y los ingresos derivados de la venta de *forfaits*. En la segunda parte se crean tres escenarios climáticos con el objetivo de analizar

cómo podrá cambiar el nivel de dependencia de la nieve artificial en relación a los ingresos derivados de la venta de *forfaits*.

#### a) Escenario de referencia

Como primer paso se analizaron los niveles de espesor máximos de las estaciones de esquí en las temporadas 2009/2010 a 2014/2015.<sup>5</sup> La Figura 3 presenta los valores medios observados durante el periodo de análisis, considerando los meses de noviembre a abril. En este periodo, el nivel medio de espesor máximo mensual varió entre 42 y 255 cm para las estaciones de Manzaneda y Sierra Nevada, respectivamente.

A continuación, se analizaron los datos de innivación de la estación de La Molina para estimar una posible relación entre el nivel de espesor máximo de nieve (cm) y la innivación artificial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de pistas innivadas) mensuales.

Conjuntamente con la variable referente a espesores máximos mensuales también fue integrada una variable designada como “Periodo”, asociada al mes de la temporada. Esta variable

<sup>5</sup> La estación de Lunada (Cordillera Cantábrica) fue excluida del análisis por haber estado cerrada en la temporada de 2014/2015.

### Cuadro de texto 1. Ecuación de regresión sobre necesidades de innivación artificial para la estación de La Molina, 2009/2010-2014/2015

$$\text{Nieve artificial (m}^3\text{/m}^2\text{)} = 0,45902 - 0,00106 * \text{Espesor máximo mensual (cm)} - 0,07664 * \text{Periodo}$$

Fuente: Elaboración propia a partir de datos facilitados por el Grupo de Turismo y Montaña de los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya y de Infonieve.es.

fue codificada con el valor 1 para diciembre, 2 (enero), 3 (febrero), 4 (marzo) y 5 (abril).<sup>6</sup>

A priori se espera encontrar una relación negativa, es decir, menor necesidad de nieve artificial para niveles de espesor máximos más elevados.<sup>7</sup> Los resultados del modelo estadístico indican que, en términos medios, para un incremento mensual de 1 cm en el espesor máximo hay una reducción de la necesidad de nieve artificial de aproximadamente  $-0,001 \text{ m}^3$  por mes y  $\text{m}^2$  de superficie innivable. Sin embargo, esta relación tiene que ser posteriormente ajustada al periodo de innivación. El valor negativo asociado al coeficiente de esta variable indica que a medida que avanza la temporada la necesidad de innivación será menor (Cuadro de texto 1).

La ecuación anterior fue utilizada en la estimación de las necesidades de nieve artificial de las estaciones de esquí por temporada en el escenario de referencia (2009/2010 a 2014/2015) utilizando los niveles de espesor máximos mensuales medios de las estaciones. Los resultados indican una necesidad total de 6,9 millones de  $\text{m}^3$  de nieve artificial por temporada, con valores que varían entre  $16\,580 \text{ m}^3$  para Manzaneda y  $795\,708 \text{ m}^3$  para Masella.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Los meses de noviembre y mayo fueron excluidos del análisis por la falta de información sobre el espesor de nieve para todos los años y estaciones.

<sup>7</sup> Los datos referentes a espesores de nieve máximos se usan en este estudio debido a la no disponibilidad de datos sobre espesores medios y mínimos de las estaciones. Igualmente, la utilización de los datos de La Molina en este análisis fue realizada ante la dificultad de encontrar información sistematizada en relación a cuanto se produce en cada estación cada mes y sobre cuanta área es innivada cada temporada. Por tanto, los resultados obtenidos en este estudio deben ser leídos como una aproximación a las necesidades de innivación.

<sup>8</sup> En este análisis fueron únicamente incluidas las estaciones que presentaban sistemas de innivación en el periodo comprendido entre 2009/2010 y 2014/2015, con lo que se excluyó las estaciones de Alto Campoo, Fuentes de Invierno y Lunada y Punto de Nieve de Santa Inés. La estación de Tavascán fue igualmente excluida del análisis por la falta de información sobre km innivados.

Para la estimación de los costes asociados a la innivación, se utilizó el coste medio por  $\text{m}^3$  observado para las temporadas 2009/2010 a 2014/2015 en la estación de La Molina, en concreto de  $0,83 \text{ €/m}^3$ . Aplicando este valor en las cantidades de nieve artificial asociadas a cada estación, el valor más elevado perteneció a Masella (~660 miles de euros), seguido de Baqueira Beret (~546 miles de euros) y Cerler (~462 miles de euros). A nivel agregado, el coste estimado fue de aproximadamente 5,8 millones de euros.

#### b) Escenarios climáticos

Para este estudio fueron definidos los siguientes escenarios climáticos hipotéticos:

1. **Impacto de nivel bajo:** reducción de un 10% en los niveles de espesor máximos mensuales medios por estación.
2. **Impacto de nivel medio:** reducción de un 25% en los niveles de espesor máximos mensuales medios por estación.
3. **Impacto de nivel elevado:** reducción de un 50% en los niveles de espesor máximos mensuales medios por estación.

A través de la aplicación de la ecuación del Cuadro de texto 1 y de la consideración de los escenarios anteriores se estimaron los cambios marginales en comparación con el escenario de referencia en lo que se refiere a las necesidades de innivación, los costes derivados de producir más nieve artificial, así como a la relación entre estos y la venta de *forfaits* de alta temporada.

La Tabla 2 presenta los resultados de necesidades de innivación según los tres escenarios climáticos (en total de  $\text{m}^3$  por estación y temporada), estableciéndose una relación compa-

**Tabla 2. Estimación de necesidades de nieve artificial de las estaciones de esquí por temporada según escenarios climáticos**

Sistema montañoso	Estación	Bajo		Medio		Elevado	
		Total (m <sup>3</sup> )	Incremento en relación a escenario de referencia (%)	Total (m <sup>3</sup> )	Incremento en relación a escenario de referencia (%)	Total (m <sup>3</sup> )	Incremento en relación a escenario de referencia (%)
PC	Baqueira Beret	704571	6,7	803191	18,1	1036858	36,6
	Boí Taüll	309998	8,8	350968	19,5	437103	35,3
	Esport Esquí	278765	5,3	30658	13,9	365357	27,8
	La Molina	568470	5,3	616302	12,6	710212	24,2
	Masella	847702	6,1	925695	14,0	1085274	26,7
	Port Ainé	214657	5,3	234231	13,2	279162	27,2
	Port del Comte	467388	4,1	498947	10,2	561721	20,2
	Vall de Núria	152275	4,6	164695	11,8	185396	21,7
PA	Vallter 2000	205571	4,5	219443	10,5	249252	21,2
	Astún	176079	8,0	198707	18,5	241434	32,9
	Candanchú	155609	4,4	1756601	15,3	214375	30,6
	Cerler	605554	8,1	678894	18,0	846348	34,2
	Formigal	509029	5,8	582559	17,7	727778	34,1
CC	Panticosa	283392	6,2	309535	14,1	368606	27,8
	Leitariegos	76139	5,3	82507	12,6	95095	24,2
	Manzaneda	16984	2,4	17589	5,7	18599	10,9
	San Isidro	33317	5,4	36019	12,5	42363	25,6
SI	Valgrande-Pajares	108591	5,9	119384	14,4	147415	30,7
	Javalambre	289260	6,1	321028	15,4	374381	27,5
	Valdelinares	178321	6,9	196971	15,7	234404	29,2
SC	Valdezaray	152805	4,9	167165	13,1	197467	26,4
	La Pinilla	318893	3,7	336762	8,8	366543	16,2
	Puerto Navacerrada	56982	5,0	62111	12,8	70845	23,6
	Sierra de Béjar	50647	6,2	55352	14,2	67344	29,5
SP	Valdesquí	24921	3,6	26716	10,1	30646	21,6
	Sierra Nevada	598744	7,4	630063	12,0	863045	35,8
Total		7384662	-	8117078	-	9817023	-

Fuente: Elaboración propia.

rativa con el escenario de referencia (incremento porcentual). Se puede observar que según el escenario de impacto más elevado (50% de reducción del espesor máximo mensual), estaciones como Masella y Baqueira Beret sobrepasan el millón de m<sup>3</sup> de innivación. Como sería de esperar, los tres escenarios climáticos llevan asociados una mayor necesidad de innivación.

En base a la tabla anterior y asumiendo un precio por m<sup>3</sup> de nieve artificial producida (0,83 €/m<sup>3</sup>), los costes marginales de la innivación arti-

ficial adicional se estimaron en cerca de 0,4, 1 y 2,4 millones de euros para los escenarios de impacto bajo, medio y elevado, respectivamente.

A continuación, se presenta un análisis de cuantos *forfaits* diarios de temporada alta es necesario vender para cubrir los costes de innivación de las estaciones de esquí, tanto en términos absolutos como a nivel relativo. Este tipo de análisis permite dar a conocer la magnitud de costes de innivación en comparación con los beneficios directos derivados de la venta de *forfaits* en los

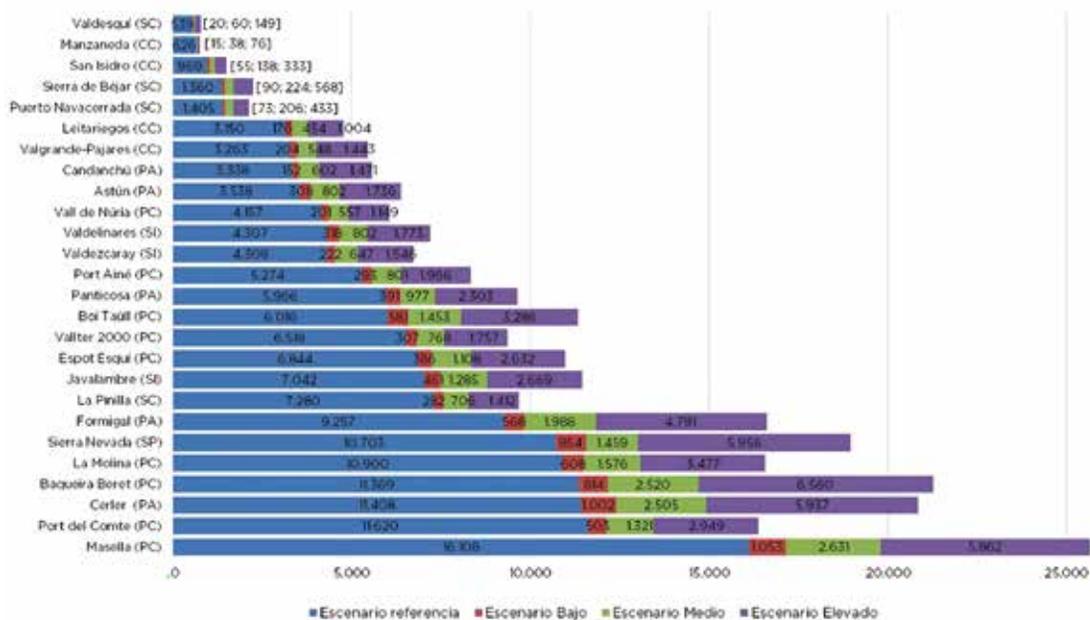


Figura 4. Estimación del incremento del número anual de forfaits necesarios para cubrir costes de innivación en relación al escenario de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores del escenario de referencia son absolutos mientras que los demás valores son el incremento estimado para los escenarios climáticos en relación al escenario de referencia.

escenarios de referencia y climáticos. Para la estimación se utilizaron los valores de los precios de *forfait* diario de temporada alta y el número total de *forfaits* vendidos en la temporada 2014/2015. El nivel de precios de *forfait* de alta temporada varió entre 19€ para la estación de Manzaneda y 48€ para Baqueira Beret.<sup>9</sup>

Los resultados presentados en la Figura 4 ilustran el número de *forfaits* que sería necesario vender para cubrir los costes de innivación. Para cada estación se presenta el número absoluto de *forfaits* necesarios para cubrir el coste de innivación en el escenario de referencia, y el incremento observado para los escenarios climáticos en comparación con el escenario de referencia. El mayor aumento para el escenario de impacto bajo y medio fue observado para Masella, donde se estimó un incremento de 1053 y 2631 *forfaits*, respectivamente. Para

el escenario de impacto elevado, la estación de Baqueira Beret registró el mayor aumento, en concreto de 6560 *forfaits* que será necesario vender anualmente para compensar el incremento de costes de innivación.

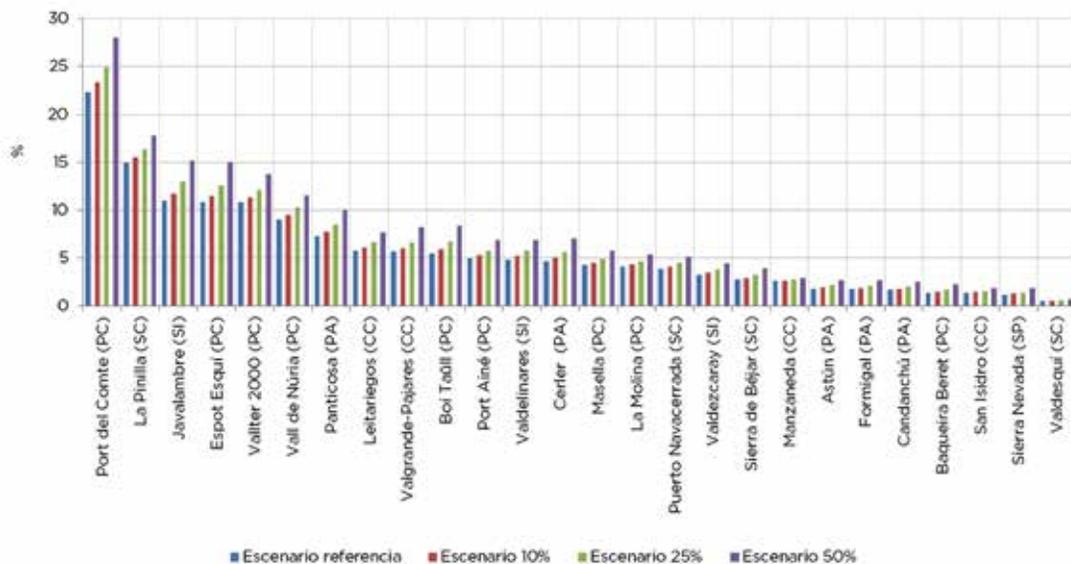
A nivel porcentual, Port del Comte, La Pinilla y Javalambre ocupan las tres primeras posiciones en términos de la mayor necesidad de venta de *forfaits* para poder cubrir los costes de innivación. Si se considera el escenario de impacto elevado, la primera estación necesitaría vender un 28% de los *forfaits* vendidos en la temporada 2014/2015 para poder cubrir los nuevos costes de innivación. La gran mayoría de las estaciones estudiadas, en concreto 19, obtienen un valor por debajo del 10% para todos los escenarios (Figura 5).

### ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA AMPLIACIÓN HORARIA Y ESQUÍ NOCTURNO

En primer lugar se ha realizado un análisis del impacto económico en el sector como resultado de una posible reducción del número de días de esquí a consecuencia del cambio climático.

<sup>9</sup> La información sobre el precio del *forfait* fue obtenida a partir de: [http://www.elconfidencial.com/deportes/esqui/2014-11-20/si-piensas-esquiar-esta-temporada-en-espana-y-andorra-prepara-la-cartera\\_484722](http://www.elconfidencial.com/deportes/esqui/2014-11-20/si-piensas-esquiar-esta-temporada-en-espana-y-andorra-prepara-la-cartera_484722) [14/12/15]; la información sobre el número de *forfaits* vendidos fue obtenida a partir de: ATUDEM (2015b), con excepción de la estación de Port del Comte que contó con la fuente: <http://solonieve.es/positiva-temporada-para-las-estaciones-de-esqui-del-pirineo-de-lleida> [14/12/15].

Figura 5. Relación entre forfaits necesarios para cubrir costes de innivación y forfaits vendidos en 2014/2015 para varios escenarios climáticos.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se analizó cómo la ampliación horaria, en concreto, asociada a la implementación de esquí nocturno, podría contrarrestar las pérdidas económicas originadas en los diferentes escenarios climáticos.

### a) Escenario de referencia

La modalidad de esquí nocturno solamente es practicada en Masella, Vall de Núria, Valgrande-Pajares y Sierra Nevada. El número máximo de horas de esta modalidad fue observado en Valgrande-Pajares (90 horas), aunque con una extensión baja de pistas abiertas (0,3 km) en comparación con Masella (77 horas; 10 km) y Sierra Nevada (77,5 horas; 5,35 km). Vall de Núria suele tener solo un día de esquí nocturno por temporada, con 4 horas y 1,39 km esquiables.<sup>10</sup>

A través de información facilitada por Info-nieve.es sobre la media de km esquiables en

la temporada 2014/2015 y de los datos facilitados por Cetursa, responsable por la gestión de la estación de Sierra Nevada, sobre la caracterización del esquí nocturno (p.e. costes de implementación, *forfaits* vendidos) fue posible analizar la relación entre *forfaits* vendidos en las modalidades de esquí diurno y nocturno por hora y km esquiable.

En la temporada 2014/2015, la estación de Sierra Nevada vendió 22,93 *forfaits* por hora y km esquiable en la modalidad nocturna, mientras que la relación para modalidad diurna fue de 10,68 *forfaits*/h/km. El menor valor observado para el esquí diurno es esperado debido al mayor número de días y km esquiables para esta modalidad en comparación al esquí nocturno, aunque en términos absolutos la primera modalidad es claramente más relevante. Comparando los valores obtenidos para las dos modalidades, se observa que para cada *forfait* de esquí diurno vendido por hora y km esquiable corresponden 2,15 unidades de *forfaits* nocturnos vendidos por hora y km esquiable.

Considerando que no se sabe de antemano cuántas personas podrán esquiar en el caso de que el esquí nocturno se extienda a las demás estaciones, este estudio realizó una proyección de la posible demanda de esta modalidad en

<sup>10</sup> La información sobre la práctica y horario de esquí diurno y nocturno fue obtenida a partir del contacto telefónico con las propias estaciones, así como a través de la consulta de datos sobre la estación de Masella en la página web <http://www.masella.com/ca/paginas/esqui-nocturn> [14/12/2015], la consulta de datos sobre la estación de Vall de Núria en la página web <http://www.nevasport.com/noticias/art/11448/Esqui-nocturno-en-Vall-de-Nuria%C2%A1%C2%A1Participa!!!!> [14/12/2015], ATUDEM (2015a) para la estimación de los km de pistas de esquí nocturno, y el contacto por correo electrónico y consulta de la página web <http://sierranevada.es> para esta estación.

base en los siguientes pasos: primero, se observó cuantos *forfaits* de esquí diurno se vendieron en cada estación en la temporada 2014/2015, así como cuantas horas y km esquiables correspondieron a la misma temporada; segundo, se calculó el número de *forfaits* vendidos por hora y km esquiable; tercero, se utilizó el valor de 2,15 previamente obtenido para Sierra Nevada para la estimación del posible número de *forfaits* que se podrán vender por hora y km esquiable nocturno para las demás estaciones.

Para la estimación de los costes y beneficios asociados al esquí nocturno se utilizaron los datos obtenidos para Sierra Nevada. Considerando los datos para las temporadas 2009/2010 a 2014/2015, el coste medio del esquí nocturno fue de 156,3 € por hora y km esquiable, integrando diversas categorías como el gasto con la electricidad de los remontes e iluminación, costes de personal, etc. En cuanto al precio de *forfait* nocturno, es decir, considerando varias categorías (Sénior, Adulto, Junior), se consideró el valor medio de la temporada 2015/2016, en concreto 15,63 €. <sup>11</sup>

## b) Escenarios climáticos

Una de las posibles consecuencias del cambio climático es la reducción del número de días de la temporada de esquí. Para el presente análisis se definieron 3 escenarios según la reducción en relación a la temporada 2014/2015, concretamente: <sup>12</sup>

1. **Impacto de nivel bajo:** reducción de 10 días.
2. **Impacto de nivel medio:** reducción de 20 días.

<sup>11</sup> La información referente a los costes fue facilitada por Cetursa, empresa gestora de la estación de Sierra Nevada, mientras que el valor del *forfait* nocturno fue consultado en la página web: <http://sierranevada.es/es/invierno/forfait/tarifas/f-nocturno> [14/12/15].

<sup>12</sup> La información sobre el número de días de esquí del escenario de referencia fue obtenida a partir de de ATUDEM (2015b), con excepción de la estación de Port del Comte que contó con la siguiente fuente: <http://www.infonieve.es/estacion-esqui/port-del-comte/22/historico-nieve/> [16/12/15]. En el análisis no se incluyeron las estaciones de Tavascán y Manzaneda debido al bajo número de días en la temporada 2014/2015, respectivamente 60 y 44 días. Además, no se integró la estación de Punto de Nieve de Santa Inés debido a la falta de datos sobre el número de *forfaits* vendidos.

3. **Impacto de nivel elevado:** reducción de 40 días.

La Tabla 3 presenta la estimación de pérdida de ingresos asociada a la reducción de la temporada de esquí. Para este cálculo se utilizó la información sobre el número medio de *forfaits* vendidos por hora y km esquiable obtenido para cada estación. Además, se realizó la estimación en base al nivel de ingreso medio observado en la temporada 2013/2014, en concreto 21,93 € por esquiador (ATUDEM, 2014). La decisión de utilizar este valor en vez del precio del *forfait* se justifica por el hecho de que la reducción de días de esquí tendería a darse en los periodos de temporada baja. En ese sentido se pretendió trabajar con un valor más bajo y que permitiera igualmente capturar otro tipo de *forfaits* (p.e. *forfait* infantil, *forfait* de temporada). Los resultados indican una pérdida total de ingresos de cerca de 8,5, 17 y 34 millones de euros para los escenarios de bajo, medio y elevado impacto, respectivamente, en relación al escenario de referencia.

## c) Aplicación de la medida de adaptación

En cuanto a la implementación de la modalidad de esquí nocturno como respuesta a la reducción de días de temporada, se consideraron las siguientes opciones:

1. Apertura horaria nocturna de 2,5 horas a lo largo de 31 días y de 16,7% de los km esquiables en la temporada. <sup>13</sup>
2. Apertura horaria nocturna de 2,5 horas a lo largo de 31 días y de 30% de los km esquiables en la temporada.

Para la estimación del balance económico de las opciones 1 y 2 de adaptación se contabilizaron como costes la pérdida de ingresos de la venta de *forfaits* derivada de la reducción de la temporada con los escenarios climáticos, así como

<sup>13</sup> El valor referente a los km esquiables (16,7%) representa el valor medio asociado a las estaciones que tenían la modalidad de esquí nocturno en el escenario de referencia, en concreto Masella, Vall de Núria, Valgrande-Pajares y Sierra Nevada.

**Tabla 3. Estimación del número de *forfaits* diarios vendidos y de la pérdida de ingresos (euros) asociada a los escenarios climáticos**

Sistema montañoso	Estación	Escenario bajo		Escenario medio		Escenario elevado	
		Forfaits diarios vendidos	Pérdida de ingresos (€)	Forfaits diarios vendidos	Pérdida de ingresos (€)	Forfaits diarios vendidos	Pérdida de ingresos (€)
PC	Baqueira Beret	731 805	-1 360 040	669 787	-2 720 081	545 753	-5 440 161
	Boí Taüll	101 608	-198 952	92 536	-397 904	74 391	-795 807
	Espot Esquí	58 072	-112 701	52 933	-225 401	42 655	-450 802
	La Molina	244 188	-473 898	222 579	-947 797	179 360	-1 895 594
	Masella	340 906	-602 908	313 413	-1 205 816	258 428	-2 411 632
	Port Ainé	96 735	-187 735	88 175	-375 470	71 053	-750 940
	Port del Comte <sup>1</sup>	47 357	-101 818	42 714	-203 636	33 429	-407 271
	Vall de Núria	41 729	-88 846	37 677	-177 691	29 575	-355 382
	Vallter 2000	55 470	-105 780	50 647	-211 560	41 000	-423 119
PA	Astún	179 735	-394 160	161 762	-788 320	125 815	-1 576 639
	Candanchú	173 333	-365 500	156 667	-731 000	123 333	-1 462 000
	Cerler	226 073	-438 743	206 067	-877 485	166 054	-1 754 971
	Formigal	475 928	-940 279	433 051	-1 880 557	347 299	-3 761 115
	Panticosa	75 552	-149 267	68 746	-298 534	55 133	-597 069
CC	Alto Campoo	90 460	-190 749	81 762	-381 497	64 366	-762 995
	Fuentes de Invierno	50 394	-122 793	44 794	-245 585	33 596	-491 171
	Leitariegos	48 910	-120 515	43 414	-241 031	32 423	-482 061
	San Isidro	62 643	-127 200	56 842	-254 399	45 242	-508 798
	Valgrande-Pajares	51 731	-116 954	46 397	-233 907	35 731	-467 815
SI	Javalambre	57 268	-149 511	50 451	-299 023	36 815	-598 045
	Valdelinares	81 070	-170 948	73 275	-341 896	57 684	-683 793
	Valdezcaray	121 033	-228 815	110 599	-457 630	89 731	-915 261
SC	La Pinilla	43 462	-116 234	38 162	-232 468	27 561	-464 935
	Puerto Navacerrada	32 034	-85 672	28 128	-171 345	20 314	-342 690
	Sierra de Béjar	44 288	-103 324	39 577	-206 648	30 154	-413 296
	Valdesquí	85 337	-205 654	75 960	-411 307	57 204	-822 614
SP	Sierra Nevada	813 659	-1 222 160	757 929	-2 444 321	646 469	-4 888 641
Media		164 102	-314 117	149 779	-628 234	121 132	-1 256 467
Total		4 430 780	-8 481 154	4 044 044	-16 962 309	3 270 568	-33 924 617

Fuente: Elaboración propia.

los gastos asociados con la implementación de esquí nocturno. En cuanto a los beneficios se incluyó el incremento de ingresos por la venta de *forfaits* nocturnos.

Se observa que todas las estaciones presentaron resultados negativos y que estos fueron casi idénticos para las dos opciones, apuntándose valores algo mejores en la opción 2. Los valores máximos fueron observados para la estación

de Baqueira Beret con un balance negativo de cerca de 5,3 y 5,2 millones de euros para el escenario de impacto elevado en las opciones 1 y 2, respectivamente. Al contrario, los valores más bajos estuvieron asociados a la estación de Puerto de Navacerrada con aproximadamente -69,1 y -55,9 miles de euros para el escenario de impacto bajo y las opciones 1 y 2, respectivamente. El valor agregado para la opción 1 y para los escenarios de impacto bajo, medio

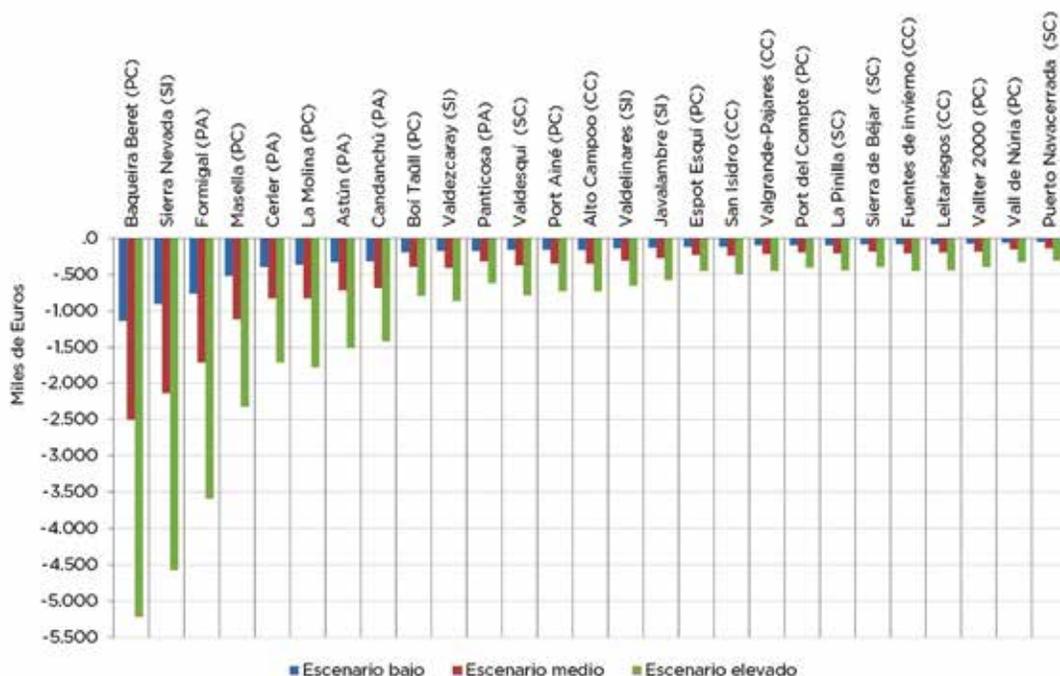


Figura 6. Estimación del balance económico entre el efecto económico asociado a los escenarios climáticos y la ampliación horaria nocturna (opción 2).

Fuente: Elaboración propia.

y elevado fue de aproximadamente -7,7, -16,1 y -33,1 millones de euros, respectivamente. En cuanto a la opción 2, los valores para los mismos escenarios fueron de cerca de -7, -15,4 y -32,4 millones de euros (Figura 6).

## CONCLUSIONES

Las estaciones de esquí están ubicadas en uno de los sistemas más expuestos al cambio climático –las zonas de alta montaña–. La respuesta a este problema requerirá una combinación de acciones de adaptación según las características de las estaciones en relación a diversos aspectos como su ubicación geográfica, la altitud, el potencial de atracción turística, etc.

La adopción de estrategias aisladas como la innivación artificial o la ampliación horaria puede no constituir la respuesta adecuada, en la medida de que pueden no ser rentables económicamente. Además, principalmente la primera de ellas, puede conllevar impactos de orden ambiental y social elevados. Igualmente, es importante asegurar que la financiación

sea soportada por las entidades que benefician directamente e indirectamente de la actividad.

El análisis económico de la producción de nieve artificial fue realizado en base al supuesto de que las estaciones que presentan un mayor espesor de cobertura de nieve a lo largo de la temporada necesitarán menor cantidad de nieve artificial. En este estudio fue desarrollado un modelo estadístico que ha permitido estimar las necesidades de nieve artificial en las estaciones de esquí alpino según un escenario de referencia y varios escenarios climáticos. La lógica subyacente es que los costes asociados a las nuevas necesidades de innivación representan parte de los costes necesarios para evitar los daños resultantes de los escenarios climáticos.

A nivel agregado, los costes estimados para la innivación artificial adicional se estimaron entre 0,4 y 2,4 millones de euros para los escenarios de impacto bajo y elevado, respectivamente. Además, el análisis económico permitió relacionar las estimaciones de costes de innivación actuales y futuros con la venta de *forfaits*. Esa relación permitió averiguar, por ejemplo, que

el porcentaje de *forfaits* necesarios para cubrir los costes de innivación puede ser superior al 10% para varias estaciones y incluso sobrepasar el 25% según los escenarios considerados.

Para la medida de ampliación horaria y esquí nocturno, el análisis estimó primeramente las pérdidas originadas por una reducción de días de la temporada de esquí como resultado de diversos escenarios climáticos. Seguidamente, se estudió el efecto de la implementación de esquí nocturno según dos opciones: la práctica de esta modalidad durante 31 días por temporada en el 16,7% y el 30% de los km esquiabiles.

El balance económico global estimado (resultado de la pérdida por la reducción de días de esquí, los costes de ampliación horaria y los beneficios derivados de la venta de *forfaits* nocturnos) es considerablemente negativo para todas las estaciones. Los resultados indican un balance negativo agregado comprendido entre 7 y 33,1 millones de euros.

Las estaciones podrán considerar varias medidas de adaptación, incluyendo, medidas potencialmente de menor impacto como: la protección y conservación de recursos nivales respetuosas con el medio ambiente; mejorar el monitoreo meteorológico y climático; la diversificación de actividades recreativas; o la propia conversión de estaciones de esquí en estaciones de montaña que operen durante todo el año.

Por otro lado, algunas zonas podrán tener que repensar el modelo económico y apostar por otras actividades de montaña más adaptadas a futuros escenarios climáticos. A la hora de concebir este tipo de medidas de orden más estructural, es importante considerar posibles desafíos como pueden ser: la necesidad de involucrar los agentes económicos regionales en el debate; la posible necesidad de rentabilizar el capital físico invertido en las estaciones; o la consideración de la tipología del mercado laboral que, en algunas zonas de montaña, puede ser más rígido en relación a otras zonas en cuanto a la posibilidad de permitir una fluctuación hacia otras actividades. ❀

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Fundación Biodiversidad, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y a la Oficina Española de Cambio Climático por el apoyo prestado en la elaboración de este estudio. Además, se desea agradecer a Albert Solà i Martí del Departamento de Turismo y Montaña, Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) y a Eduardo Valenzuela de Cetursa (Sierra Nevada) por los datos facilitados, y a todos los participantes en las entrevistas realizadas durante el desarrollo de esta investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abegg, B., S. Agrawala, F. Crick, A. De Montfalcon (2007), Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In S. Agrawala (Ed.): *Climate change in the European Alps: Adapting winter tourism and natural hazards management* (pp. 25–58). Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- ATUDEM (2014), Guía oficial de estaciones esquí 2015. Editor: Media Pro Dynamic, S.L Barcelona.
- ATUDEM (2015a), Dossier de prensa. Temporada 2015, <http://atudem.org/images/descargas/dossier-prensa-online.pdf>, [12 de Mayo de 2015].
- ATUDEM (2015b), Balance ATUDEM temporada 2014-2015.
- Clarimont, S. (2008), Turismo de invierno y cambio climático: la producción de nieve artificial en los Pirineos, ¿un uso sostenible del agua?. 6º Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua, Vitoria, 5 de diciembre.
- Dawson, J., D. Scott, y M. Havitz (2013), Skier demand and behavioural adaptation to climate change in the US Northeast. *Leisure/Loisir* 37(2), 127-143.
- Hendrikx, J., E.Ö. Hreinsson, M.P. Clark, A.B. Mullan (2012), The potential impact of climate change on seasonal snow in New Zealand: part I-an analysis using 12 GCMs. *Theoretical and Applied Climatology* 110 (4), 607-618.
- IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- OECC-UCLM (2005), Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.
- Pons, M., J.I. López-Moreno, P. Esteban, S. Macià, J. Gavalda, C. García, M. Rosas, E. Jover (2014), Influencia del cambio climático en el turismo de nieve del Pirineo. Experiencia del proyecto de investigación NIVOPYR. Pirineos, 169, e006.
- Scott, D., G. McBoyle, B. Mills (2003), Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): Exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Climate Research* 23, 171-181.
- Scott, D., G. McBoyle, A. Minogue (2007), Climate change and Quebec's ski industry. *Global Environmental Change* 17, 181-190.
- Steiger, R., B. Abegg (2013), The sensitivity of Austrian Ski areas to climate change. *Tourism, Planning and Development* 10(4), 480-493.

# SOY LOURDES

Y HAGO CRECER EL MUNDO



**"Ahora puedo ofrecer una dieta nutritiva a mi familia.** Con mi huerto orgánico cultivo acelgas, apios, cebollas, espinacas, puerros... He aprendido cómo cuidar animales de forma adecuada, utilizar semillas apropiadas al terreno y al clima, y técnicas agrícolas respetuosas con el medio ambiente. Estamos orgullosos de haber podido mejorar. Hoy mi meta es seguir haciéndolo".

**LOURDES PUMA.** 25 años  
Campesina de la comunidad de Acopía. Perú.

TÚ TAMBIÉN PUEDES HACER CRECER EL MUNDO ATACANDO  
LOS PROBLEMAS DESDE LA RAÍZ:

[WWW.INTERMONOXFAM.ORG/HAZCRECERELMUNDO](http://WWW.INTERMONOXFAM.ORG/HAZCRECERELMUNDO)

COLABORA:

**902 330 331**

**CRÉCE**  
ALIMENTOS. VIDA. PLANETA.



**Intermón  
Oxfam**

**FRUTA Y VERDURA**  
de aquí y de ahora



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIOAMBIENTE