

# Quinto Informe de Evaluación del IPCC

## BASES FÍSICAS

E. RODRÍGUEZ CAMINO (AEMET), J.R. PICATOSTE RUGGERONI (OECC), F. HERAS HERNÁNDEZ (CENEAM-OAPN)

### 1.- Introducción

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (más conocido por sus siglas en inglés, IPCC) es una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Se constituyó para proporcionar a los responsables políticos y otros sectores interesados información objetiva, clara, equilibrada y neutral del estado de conocimientos sobre el cambio climático. El IPCC aprobó en su XXXVI reunión plenaria (Estocolmo, 26 septiembre 2013) la contribución al Quinto Informe de Evaluación (AR5, de sus siglas en inglés) del Grupo de Trabajo I, dedicado a las bases científicas físicas del cambio climático.

Este breve texto presenta de forma resumida y simplificada la contribución del Grupo de Trabajo I al AR5. El texto se basa, principalmente, en los materiales contenidos en el resumen para responsables de políticas (SPM 2013) y en el resumen técnico (TS 2013), aunque también se ha utilizado material procedente del informe completo (IPCC 2013).

En términos generales, se puede decir que, en lo referente a las bases físicas, el AR5 confirma y refuerza, los resultados del anterior informe. Se basa en nuevas evidencias extraídas de un mayor número de observaciones, modelos climáticos mejorados, una mejor comprensión de los procesos y retroalimentaciones del sistema climático, y un mayor número de proyecciones de cambio climático.

### 2.- Cambios observados en el sistema climático

El calentamiento del sistema climático es inequívoco. Desde 1950 se han observado cambios en el sistema climático que no tienen precedente, tanto si se comparan con registros históricos observacionales, que datan de mediados del siglo XIX, como si se comparan con registros paleoclimáticos referidos a los últimos milenios. Este calentamiento del sistema climático se evidencia en que: i) la atmósfera y los océanos se han calentado; ii) la cantidad y extensión de las masas de hielo y nieve han disminuido; iii) el nivel del mar ha su-

bido; y iv) las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado.

En cuanto a la atmósfera, el AR5 concluye que:

- ▶ La temperatura media global muestra un incremento de 0,85 °C (entre 0,65 °C y 1,06 °C) en el periodo 1880-2012.
- ▶ Cada una de las últimas tres décadas ha sido más cálida que todas las anteriores desde 1850, siendo la primera década del siglo XXI la más cálida de todas.
- ▶ Las tendencias en periodos cortos (entre 10 y 15 años) están muy afectadas por la variabilidad natural, tal y como sucede, por ejemplo, en los últimos 15 años, en los que la tasa de calentamiento ha sido inferior a la media registrada desde 1951.
- ▶ La precipitación ha aumentado en las zonas terrestres de latitudes medias del hemisferio norte desde 1950.
- ▶ Se han observado cambios en los episodios extremos desde 1950. El número de días y noches frías ha disminuido y el número de días y noches cálidas ha aumentado a nivel global.

Las reconstrucciones paleoclimáticas permiten situar los cambios recientemente observados y las proyecciones futuras en el contexto, más amplio, de la variabilidad histórica del clima. En el hemisferio norte el periodo 1983-2012 ha sido el intervalo de 30 años más cálido de los últimos 800 años. En el periodo correspondiente a la Anomalía Climática Medieval (entre 950 y 1250) hubo algunas regiones en el hemisferio norte que fueron tan cálidas como a mediados del siglo XX y otras tan cálidas como a finales del siglo XX. La distribución espacial de las temperaturas y su evolución temporal entre la Anomalía Climática Medieval y la Pequeña Edad de Hielo (entre 1450 y 1850) se debió a cambios en la actividad volcánica, la actividad solar y los ciclos orbitales.

En el océano la capa superior (desde la superficie hasta los 700 m de profundidad) se ha calentado en el periodo 1971 - 2010. El calentamiento del océano es mayor cerca de la superficie, sumando más de 0,1°C por década en los primeros 75 m durante el periodo 1971-2010. El calentamiento decrece con la profundidad y se extiende hasta los 2000 m.

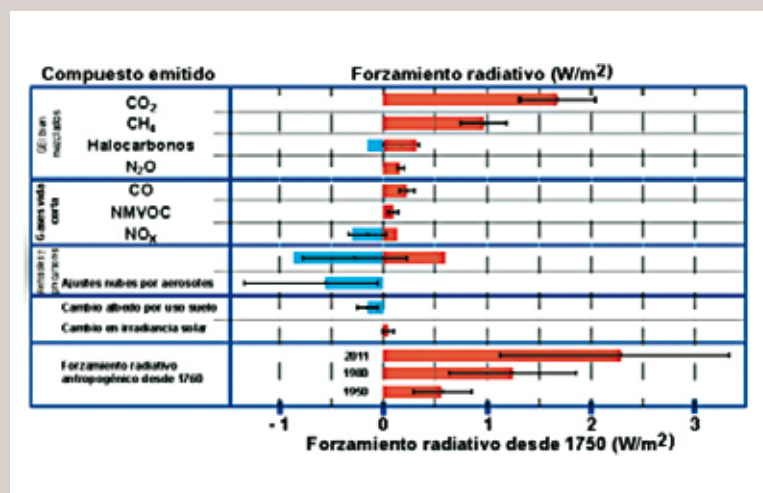
En cuanto a la criosfera, los glaciares y los mantos de hielo (Groenlandia y Antártida) están perdiendo masa, la extensión del hielo marino ártico está disminuyendo, mientras que la del hielo marino antártico ha aumentado ligeramente, y en el hemisferio norte la extensión de la cobertura de nieve en primavera ha disminuido y el permafrost se está fundiendo.

El nivel medio del mar ha aumentado en 0,19 m en el periodo 1901-2010 con una tasa de aumento que se ha acelerado en los dos últimos siglos. El nivel global medio del mar ha aumentado 1,7 mm/año en el periodo 1901-2010 y 3,2 mm/año entre 1993 y 2010. En el último periodo interglaciario, que tuvo lugar entre 129.000 y hace 116.000 años antes de la actualidad, el nivel medio máximo del mar fue, al menos, 5m más elevado que el actual, sin llegar a exceder los 10m.

### 3.- Procesos y agentes que determinan el cambio climático

El cambio climático es el resultado de desequilibrios en el balance energético de la Tierra, que son causados por procesos y agentes naturales y antropogénicos. El forzamiento radiativo (FR) cuantifica el cambio en los flujos de energía originados por variaciones en la acción de estos agentes. Los valores positivos/negativos son indicadores del calentamiento/enfriamiento respectivamente. El FR antropogénico total es positivo (2,3 W/m<sup>2</sup> desde 1750) conduciendo a una ganancia neta de energía por parte del sistema climático. Las nuevas estimaciones realizadas del FR (para el año 2011) son un 44% más altas que las anteriores, realizadas en 2005. Esto se debe, a partes iguales, a la estimación a la baja del papel de los aerosoles (que tienen un efecto global de enfriamiento) y al incremento de las concentraciones de la mayoría de los gases de efecto invernadero en los seis años transcurridos desde la anterior estimación (que tienen un efecto global de calentamiento).

El factor que contribuye en mayor medida al FR es el aumento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ocurrido a partir de 1750. Desde los años 60 es la variable que ha contribuido en mayor medida en todas las décadas al incremento del forzamiento antropogénico. El FR originado como resultado de los cambios en las concentraciones de los gases de efecto invernadero bien mezclados (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y Halocarbonos) desde 1750 es 2,83 W/m<sup>2</sup>. Los forzamientos debidos a la emisión de aerosoles y sus interacciones con las nubes continúan contribuyendo con la mayor incertidumbre a las estimaciones e interpretaciones del cambio del balance energético de la Tierra. Los cambios en el forzamiento asociados a la actividad de los volcanes y la irradiancia solar total con-



tribuyen solamente en una pequeña fracción al FR neto durante la era industrial.

### 4.- Causas del cambio climático

La comprensión del sistema climático y de sus cambios recientes se apoya en una combinación de: observaciones directas, estudios teóricos de los procesos de retroalimentación y simulaciones realizadas a partir de modelos. Los modelos climáticos han mejorado desde la publicación del AR4 y muchos de ellos se han ampliado a todo el sistema Tierra e incluyen una representación del ciclo del carbono. Se ha comprobado que reproducen adecuadamente los patrones de gran escala y las tendencias de la temperatura superficial observados, especialmente desde mediados del siglo XX. La precipitación y la extensión del hielo marino no se simulan tan bien como la temperatura. Por otra parte, las simulaciones en las escalas menores que la subcontinental ofrecen un menor grado de confianza.

La influencia humana en el clima ha sido la causa dominante (con una probabilidad superior al 95%) de más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global en el periodo 1951-2010, lo que ha originado el calentamiento de los océanos, la fusión de hielo y nieve, la elevación del nivel del mar y cambios en algunos extremos climáticos en la segunda mitad del siglo XX.

El nivel de certeza a la hora de atribuir el cambio del clima a la influencia humana ha ido aumentando en los sucesivos informes de evaluación: en el AR3 (2001) se estimaba una probabilidad superior al 66%, en el AR4 (2007) superior al 90% y en el AR5 (2013) superior al 95%.

## Quinto Informe de Evaluación del IPCC: BASES FÍSICAS

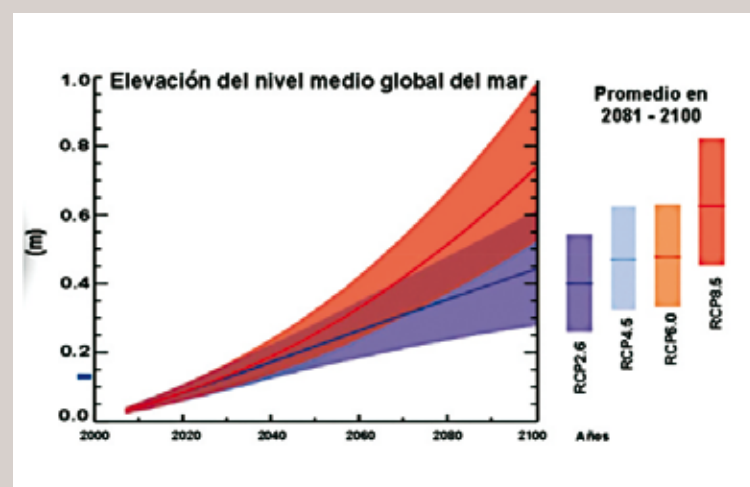
El calentamiento observado desde 1951 ha sido atribuido a una serie de factores naturales y antropogénicos y sus contribuciones respectivas han sido cuantificadas. Los gases de efecto invernadero contribuyen al calentamiento entre 0,5°C y 1,3°C en el periodo 1951-2010, mientras que los aerosoles contribuyen con un enfriamiento entre -0,6°C y 0,1°C. Las contribuciones de los forzamientos naturales y de la variabilidad natural están ambos en el rango entre -0,1°C y +0,1°C. Todas las contribuciones evaluadas son consistentes con el calentamiento observado, de aproximadamente 0,6°C, en este periodo.

### 5.- Proyecciones de cambio climático global

En el AR5 se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, las denominadas Sendas Representativas de Concentración (RCP, de sus siglas en inglés). Éstas se identifican por su FR total para el año 2100 que varía desde 2,6 a 8,5 W/m<sup>2</sup>. Los escenarios de emisión utilizados en el AR4 (denominados SRES, de sus siglas en inglés) no contemplaban los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendientes a mitigar las emisiones, representando posibles evoluciones socio-económicas sin restricciones en las emisiones. Por el contrario, algunos de los nuevos RCP pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI.

Las emisiones continuadas de gases de efecto invernadero causan un calentamiento adicional al actualmente existente. Unas emisiones iguales a las tasas actuales o superiores inducirán cambios en todos los componentes del sistema climático, algunos de ellos sin precedentes en cientos o miles de años. Los cambios tendrán lugar en todas las regiones del globo, incluyendo cambios en la tierra y el océano, en el ciclo del agua, en la criosfera, en el nivel del mar, en algunos

episodios extremos y en la acidez de los océanos. Muchos de estos cambios persistirán durante muchos siglos. La limitación del cambio climático requerirá reducciones substanciales y sostenidas de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las proyecciones para las próximas décadas de muchas magnitudes muestran

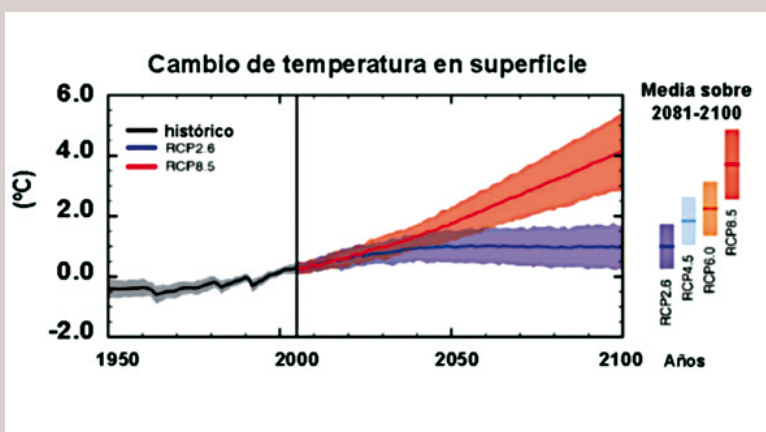


cambios similares a los ya observados. El cambio climático proyectado basado en las Sendas Representativas de Concentración es similar al mostrado en el AR4.

En la atmósfera, el cambio de la temperatura superficial no será regionalmente uniforme, si bien, en el largo plazo, el calentamiento será mayor sobre tierra que sobre los océanos. La región Ártica se calentará más rápidamente. En un clima más cálido, el contraste en la precipitación estacional media entre las regiones secas y húmedas aumentará en la mayor parte del globo. Las regiones situadas en latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial verán incrementarse sus precipitaciones.

En la mayoría de las regiones habrá más episodios relacionados con extremos de altas temperaturas y menos relacionados con extremos de bajas temperaturas. Las olas de calor serán más frecuentes y tendrán mayor duración. Los fríos invernales extremos continuarán ocurriendo ocasionalmente. En algunas áreas aumentará la frecuencia, intensidad y/o cantidad de precipitaciones fuertes. En la Región Mediterránea y Oriente Medio, suroeste de EEUU y sur de África se reducirá la escorrentía (agua disponible) y la humedad del suelo.

En el océano habrá calentamiento en todos los escenarios. Este proceso continuará durante siglos debido a las largas escalas temporales de la transferencia de calor entre la superficie y el océano profundo, incluso si las emisiones de gases de efecto invernadero decrecen o se mantienen constantes. La circulación termohalina atlántica se debilitará a lo



largo del siglo XXI entre un 1 y 24% en el escenario RCP2.6 (emisiones bajas) y entre un 12 y 54% en el escenario RCP8.5 (emisiones altas). Es muy improbable que sufra una transición abrupta en el siglo XXI en los escenarios considerados.

La extensión y el espesor del hielo marino ártico continuarán disminuyendo a lo largo del siglo XXI. Se estima que, en el escenario RCP8.5 y utilizando algunos de los modelos que mejor reproducen las tendencias de la cobertura de hielo marino ártico, el océano Ártico quedará probablemente casi libre de hielo antes de 2050. La cobertura de nieve en el hemisferio norte decrecerá durante el siglo XXI. Se estima que el área cubierta por la nieve en el hemisferio norte en primavera decrecerá entre un 7% para el escenario RCP2.6 y un 25% para el RCP8.5 al final del siglo XXI. En las latitudes altas del hemisferio norte la extensión del permafrost próximo a la superficie se reducirá. Para finales del siglo XXI la reducción oscilaría entre el 37% (RCP 2.6) y el 81% (RCP 8.5).

El nivel medio global del mar se incrementará durante el siglo XXI por el calentamiento de los océanos y las pérdidas de masa de glaciares y mantos de hielo, con un aumento en la confianza de las proyecciones respecto al AR4.

El cambio climático a corto plazo (escala decadal) depende del calentamiento comprometido (causado por la inercia de los océanos en respuesta al forzamiento histórico externo), de la evolución del forzamiento externo y de la variabilidad climática generada internamente, siendo ésta última la contribución más relevante.

Las predicciones de temperaturas de escala decadal (hasta 10 años) son estadísticamente fiables cuando los cálculos se realizan a partir de un ensemble multimodelo, si bien no tienen fiabilidad a escala regional. Las condiciones iniciales consideradas para realizar las predicciones a corto plazo influyen de forma significativa en la calidad de esas predicciones. Por este motivo, las predicciones a corto plazo que toman como punto de partida los primeros años del siglo XXI (entre 2000 y 2005) reproducen mejor el fenómeno de ralentización del incremento de temperaturas que se ha observado empíricamente en los últimos años. En ausencia de grandes erupciones volcánicas y suponiendo que no haya cambios significativos futuros en la irradiación solar, el cambio de la temperatura superficial media global para el periodo 2016-2035 respecto al periodo de referencia (1986-2005) estará en el rango entre 0,3°C y 0,7°C.

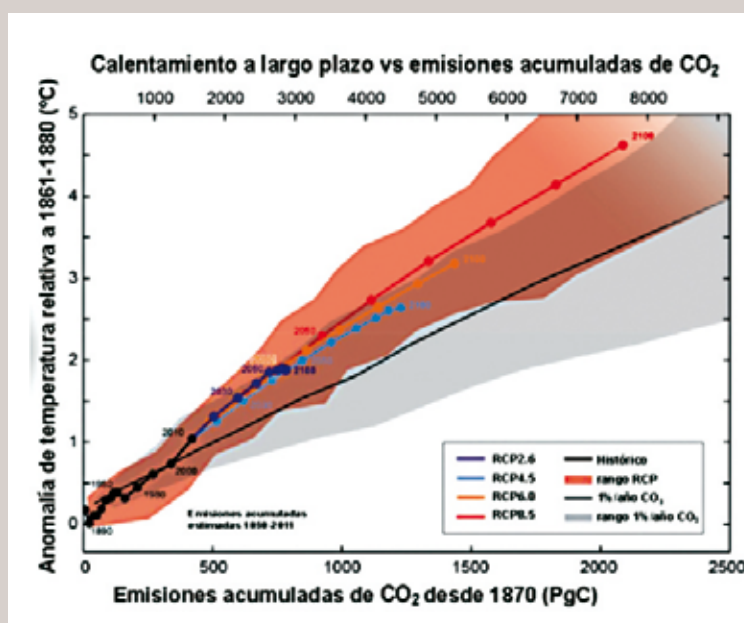
## 6.- Proyecciones de cambio climático a nivel regional

En la región Mediterránea tendrá lugar un incremento de temperatura superior a la media global, más pronunciado en los meses estivales que en los invernales. Para el escenario

RCP8.5 y para finales del siglo XXI, la región experimentará incrementos medios de temperatura de 3,8°C y de 6,0°C en los meses invernales y estivales, respectivamente. Habrá una reducción de la precipitación anual sobre la península Ibérica, que será más acusada cuanto más al sur. Las precipitaciones se reducirán fuertemente en los meses estivales. Para el escenario RCP8.5 y para finales del siglo XXI, la región Mediterránea experimentará reducciones medias de precipitación de 12% y de 24% en los meses invernales y estivales, respectivamente. También habrá un aumento de los extremos relacionados con las precipitaciones de origen tormentoso.

## 7.- Inercia de los cambios y estabilización del sistema climático

Las emisiones totales de CO<sub>2</sub> constituyen el principal agente responsable del calentamiento a largo plazo. De hecho, ambas magnitudes -incremento de temperatura y emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>- están aproximadamente relacionadas de forma lineal. En consecuencia, si se establece un objetivo de calentamiento (por ejemplo, limitar el ascenso global de temperaturas a 2°C) el hecho de que se produzcan unas emisiones mayores en las décadas próximas impli-



ca la necesidad de que las emisiones sean menores después.

Las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> acumuladas desde el comienzo de la revolución industrial deberían limitarse a aproximadamente 1000 PgC si se quiere restringir el calen-

## Quinto Informe de Evaluación del IPCC: BASES FÍSICAS

tamiento a 2°C respecto a la época preindustrial. Aproximadamente la mitad (entre 470 y 640 PgC) ya se había emitido en 2011. Si se tienen en cuenta los otros forzamientos (resto de gases de efecto invernadero emitidos como resultado de la actividad humana), una posible liberación de gases del permafrost o de los hidratos de metano, o si se quiere una mayor certeza de que no se superarán los 2°C, habría que rebajar sustancialmente esa cifra.

En el periodo 2000–2009, las emisiones medias anuales procedentes de los combustibles fósiles y de la producción de cemento fueron de 7,8 (entre 7,2 y 8,4) PgC con un crecimiento medio del 3,2% anual. Esta tasa de crecimiento de las emisiones es mayor que la registrada en la década anterior (1,0% anual). En 2011 esas emisiones alcanzaron los 9,5 (entre 8,7 y 10,3) PgC.

La utilización de modelos que simulan el ciclo del carbono permite estimar posibles escenarios en función de las emisiones totales procedentes de los combustibles fósiles realizadas en el periodo 2012–2100. Así, unas emisiones acumuladas de 270 PgC (entre 140 y 410) serían compatibles con el escenario RCP2.6, mientras que unas emisiones acumuladas de 780 PgC (entre 595 y 1 005) serían compatibles con el escenario RCP 4.5. Por su parte, el escenario RCP6.0 podría darse con unas emisiones de 1060 PgC (entre 840 y 1250) y el escenario RCP8.5 con unas emisiones de 1685 PgC (entre 1415 y 1910).

Muchos aspectos del cambio climático persistirán durante siglos, incluso si las emisiones de gases de efecto invernadero se detuviesen. El cambio climático está comprometido por las emisiones pasadas, presentes y futuras. La larga permanencia en la atmósfera del CO<sub>2</sub> ya emitido (más del 20% permanecerá más de 1000 años una vez que las emisiones hayan cesado) causa una irreversibilidad del calentamiento a escala temporal humana a menos que haya importantes de-tracciones de CO<sub>2</sub> de la atmósfera (emisiones negativas) durante periodos prolongados.

El incremento del nivel del mar por expansión térmica continuará durante muchos siglos. La pérdida continuada de masas de hielo, que en algunos casos tiene un carácter irreversible, contribuirá también a ese ascenso. Un calentamiento prolongado por encima de un cierto umbral podría desencadenar la fusión, casi completa, del manto de hielo de Groenlandia. Esa fusión, que se produciría en un periodo superior a un milenio, conllevaría un aumento del nivel del mar de hasta 7 metros.

## 8.- Conclusiones

Se puede concluir con los siguientes mensajes principales del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del IPCC: i) el cambio climático está teniendo lugar ya y continuará en las próximas décadas y siglos; ii) los humanos somos la causa principal de tal cambio; iii) si no hay una acción urgente y significativa para reducir nuestras emisiones

## Referencias

- **SPM IPCC, 2013:**

Summary for Policymakers. In: 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.

- **TS IPCC, 2013:**

Technical Summary. In: 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.

- **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.

- **Cambio Climático. Bases Físicas, 2013:**

Guía resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, Grupo de Trabajo I. Publicación del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones>)

de gases de efecto invernadero, los impactos del cambio climático serán más graves.

*En la web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (<http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones>) es posible encontrar una “Guía Resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC” que presenta de forma más amplia, acompañada de numerosos cuadros y gráficas, los contenidos de este artículo.*