

# **Cambio climático 2007**

## **Base de las Ciencias Físicas**

### **Resumen para Responsables de Políticas**

Informe del Grupo de Trabajo I del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

Y

### **Resumen Técnico**

Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I pero no aprobado en detalles

Y

### **Preguntas más Frecuentes**

Parte de la Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación  
del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

# **Cambio climático 2007**

## **Base de las Ciencias Físicas**

*Editado por*

---

**Susan Solomon**

Copresidenta,  
Grupo de Trabajo I IPCC

**Dahe Qin**

Copresidente,  
Grupo de Trabajo I IPCC

**Martin Manning**

Jefe, Unidad de Apoyo Técnico  
Grupo de Trabajo I IPCC

**Melinda Marquis   Kristen Averyt   Melinda M.B. Tignor   Henry LeRoy Miller, Jr.**

Dependencia de Apoyo Técnico, Grupo de Trabajo I IPCC

**Zhenlin Chen**

Administración Meteorológica China

---

© Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2007

Primera Publicación 2007

ISBN 92-9169-121-6

---

Foto de la portada:

Las esferas azules de los Hemisferios occidentales y orientales. Estas imágenes integran la tierra, océano, hielo marino y nubes en una representación visual del sistema climática de la Tierra. Se basan en observaciones de la Tierra tomadas desde el espacio mediante el sensor del MODIS (Espectrodiámetro de Imágenes de Resolución Moderada) de la NASA en los satélites TERRA y AQUA. Estas imágenes son parte del conjunto de datos Esfera Azul que está disponible gratis en <http://bluemarble.nasa.gov>. Documentación más detallada en Stschli, R., Vermote, E., Saleous, N., Simmon, R., y Herring, D. (2006). Los colores verdaderos de los datos de la tierra incluyen dinámicas estacionales. EOS, 87 (5):49, 55.

## Prólogo

Representando la primera evaluación mundial importante de los últimos seis años, “Cambio Climático 2007 – Base de las Ciencias Físicas”, ha captado rápidamente la atención de los responsables de políticas y del público en general. El informe confirma que nuestra comprensión científica del sistema climático y su sensibilidad respecto de las emisiones de gases de efecto invernadero es hoy más completa y profunda que nunca antes. Muestra, además, un sector de investigaciones dinámicas que brindará una información aún mejor sobre los cambios climáticos en los próximos años.

El rigor y la credibilidad de este informe se deben, en gran parte, a la naturaleza singular del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). Establecido por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988, el IPCC es un órgano intergubernamental y una red que incluye a los principales expertos y científicos especializados en el cambio climático a nivel mundial.

Los capítulos que conforman el grueso de este informe describen la evaluación que hacen los científicos del estado de los conocimientos respecto de los diferentes campos de la ciencia. Fueron escritos por 152 autores principales coordinadores y autores principales procedentes de más de 30 países, y revisados por más de 600 expertos. Una gran cantidad de revisores de diferentes gobiernos aportaron también sus comentarios.

El Resumen para Responsables de Políticas fue aprobado por funcionarios de ciento trece gobiernos aprobaron y este representa la comprensión participación de estos en toda la base que sustenta el informe. Es esta combinación entre expertos y revisores de gobiernos la que da fuerza al IPCC.

El IPCC no realiza nuevas investigaciones. Su mandato consiste en hacer evaluaciones oportunas –y no normativas- para trazar políticas, utilizando la literatura existente en el mundo sobre aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos del cambio climático. Sus informes de evaluación anteriores ayudaron a los gobiernos a adoptar y aplicar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. Este informe también resultará muy pertinente para los análisis gubernamentales de las opciones existentes en el avance mancomunado para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Cambio Climático 2007 – Base de las Ciencias Físicas es el primer tomo del IV Informe Evaluativo del IPCC. El segundo tomo analiza los impactos, vulnerabilidades y opciones de adaptación respecto del cambio climático, mientras que el tercer tomo analiza las oportunidades de mitigación y sus costos. El cuarto tomo ofrece una síntesis de los resultados generales del IPCC.


La Base de las Ciencias Físicas fue posible gracias al compromiso y la labor voluntaria de los principales climatólogos del mundo. Quisiéramos expresar nuestra gratitud a todos los Autores Principales Coordinadores, Autores Principales, Autores Contribuyentes, Editores de Revisión y Revisores. También quisiéramos agradecer al personal de la Dependencia de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo I y a la Secretaría del IPCC su dedicación para coordinar la producción de otro informe exitoso del IPCC.

Muchos gobiernos apoyaron la participación de sus científicos residentes en el proceso del IPCC y contribuyeron al Fondo Fiduciario del IPCC, para asegurar de esta forma la participación de expertos de países en desarrollo y países de economías en transición. Los gobiernos de Italia, China, Nueva Zelanda y Noruega acogieron reuniones de del comité de redacción; el gobierno de Francia fue sede de la plenaria final que aprobó y aceptó el informe. El gobierno de los Estados Unidos de América financió la Dependencia de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo I.

Finalmente quisiéramos dar las gracias al Dr R.K. Pachauri, Presidente del IPCC por su firme, incansable y capaz dirección del IPCC y a la Dra. Susan Solomon y al Prof. Dahe Qin, Copresidentes del Grupo de Trabajo I, por su hábil liderazgo del Grupo de Trabajo I durante la elaboración de este informe..



M. Jarraud  
Secretario General  
Organización Meteorológica Mundial



A. Steiner  
Director Ejecutivo  
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



## Prefacio

Esta contribución realizada por el Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación brinda una valoración integral de las ciencias físicas que tienen relación con el cambio climático y continúa ampliando los puntos de vistas sobre esa ciencia, para dar seguimiento a valoraciones anteriores del Grupo de Trabajo I. Los resultados presentados en este informe se basan en la amplia literatura científica que ha salido a la luz desde la culminación del Tercer Informe de Evaluación del IPCC, de conjunto con datos ampliados, nuevos análisis y capacidades más elaboradas de modelos climáticos.

El presente Informe ha sido preparado acorde con las normas y procedimientos establecidos por el IPCC, y utilizados en los informes de evaluación anteriores. Su configuración fue aprobada en el Vigésimo primer Período de Sesiones del Panel que tuvo lugar en noviembre de 2003, y la selección de los autores principales se aceptó Trigésimo primer Período de Sesiones del Buró del IPCC, celebrado en abril de 2004. Los proyectos de documentos se sometieron a dos rondas de revisiones durante las cuales se presentaron más de 30 000 comentarios escritos por más de 650 expertos individuales, así como por gobiernos y organizaciones internacionales. Los editores de revisión de cada capítulo se cercioraron de realizar un análisis adecuado de todos los comentarios substantivos presentados por gobiernos y expertos. El Resumen para Responsables de Políticas se aprobó reglón por reglón y los capítulos que sirven de sustento a este fueron aceptados en el Décimo Período de Sesiones del Grupo de Trabajo I del IPCC, celebrado del 29 de enero al 1 de febrero de 2007.

### *Alcance del Informe*

El informe del Grupo de Trabajo I se centra en los aspectos necesarios para una comprensión actual de la ciencia física del cambio climático que se consideran de mayor pertinencia para los responsables de políticas. No intenta analizar la evolución del pensamiento científico ni abarcar todos los aspectos relativos a la climatología. De igual modo, esta evaluación tiene en cuenta la literatura científica pertinente que estuvo disponible para los autores a mediados de 2006, y el lector debe reconocer que algunos de los temas incluidos pueden estar sujetos a un acelerado desarrollo ulterior.

Una característica de las recientes investigaciones sobre cambio climático es la amplitud de las observaciones disponibles para los diversos componentes del sistema climático, incluidos la atmósfera, los océanos y la criosfera. Las observaciones adicionales y los nuevos análisis han ampliado nuestra comprensión y permitido la reducción de muchas incertidumbres. La nueva información ha conducido también a la formulación de nuevas preguntas sobre temas tales como cambios inesperados en los mantos de hielo, su posible efecto en la elevación del nivel del mar y las implicaciones de las interacciones complejas entre el cambio climático y la biogeoquímica.

Con el objetivo de analizar las proyecciones futuras del cambio climático, este informe se basa en las decisiones adoptadas por el Panel durante el proceso de aprobación y determinación del alcance del Cuarto Informe de Evaluación, con miras a utilizar los escenarios de emisiones evaluados previamente por el IPCC y garantizar la coherencia entre los resultados de los tres Grupos de Trabajo. Sin embargo, se ha reconocido también el valor de la información obtenida a partir de nuevos modelos climáticos relacionados con la estabilización del clima. Con el propósito de abordar ambos temas, se han utilizado grupos de modelos climáticos para realizar simulaciones climáticas que incluyeron experimentos idealizados donde la composición atmosférica se mantuvo constante. De conjunto con las simulaciones de modelos climáticos, incluidas muchas corridas de modelos para los siglos XX y XXI, esta evaluación ha podido analizar muchas más simulaciones que cualquier evaluación previa del cambio climático.

Las valoraciones del IPCC sobre los efectos del cambio climático

y las opciones para responder a estos efectos o evitarlos han sido evaluadas por los Grupos de Trabajo II y III, y por eso no han sido incluidas en esta parte. En especial, si bien este informe del Grupo de Trabajo I presenta resultados para una gama de escenarios de emisiones consecuentes con los informes anteriores, una evaluación actualizada de la gama plausible de emisiones futuras puede realizarse solamente por parte del Grupo de Trabajo III.

### *Estructura de este Informe*

Esta evaluación del Grupo de Trabajo I incluye, por primera vez, un capítulo introductorio, Capítulo 1, que abarca las formas en las que ha progresado la ciencia encargada del estudio de los cambios climáticos, incluida una visión general de los métodos empleados por esta ciencia, el papel desempeñado por los modelos climáticos y la evolución del tratamiento de las incertidumbres.

Los capítulos 2 y 7 reflejan los cambios de los componentes atmosféricos (tanto gases como aerosoles) que afectan el equilibrio de la energía radiativa en la atmósfera y determinan el clima terrestre. El capítulo 2 presenta una perspectiva basada en cambios observados en la atmósfera y hace referencia al concepto principal de forzamiento radiativo. El capítulo 7 complementa esto al considerar las interacciones entre los ciclos biogeoquímicos que afectan los componentes atmosféricos y el cambio climático, incluidas las interacciones aerosol/nubes.

Los capítulos 3, 4 y 5 versan sobre la amplia gama de observaciones disponibles en la actualidad para la atmósfera y la superficie, para la nieve, el hielo y el suelo congelado, y para los océanos respectivamente. Si bien los cambios observados en estos componentes del sistema climático están estrechamente interrelacionados mediante procesos físicos, los capítulos por separado permiten una evaluación más centrada de los datos disponibles y sus incertidumbres, incluidos datos obtenidos por teleobservación satelital. El capítulo 5 incluye cambios observados en el nivel del mar, reconociendo las fuertes interconexiones entre éstos y el contenido calorífico del mar.

El capítulo 6 presenta una perspectiva paleo-climática y evalúa las pruebas tomadas de cambios climáticos pasados y hasta que punto la información científica actual disponible puede explicar esto. Incluye una nueva evaluación de temperaturas reconstruidas de los últimos 1300 años.

El capítulo 8 trata sobre las formas en que se simulan los procesos físicos en los modelos climáticos y la evaluación de estos modelos en comparación con el clima observado, incluidos su estado promedio y variabilidad. El capítulo 9 abarca el tema estrechamente relacionado de hasta que punto el cambio climático observado puede atribuirse a causas diferentes, tanto naturales como antropógenas.

El capítulo 10 se refiere al uso de modelos climáticos en las proyecciones del clima mundial, incluidas las incertidumbres. Muestra los resultados de diferentes niveles de gases de efecto invernadero en el futuro y ofrece una evaluación probabilística de un rango de respuestas físicas del sistema climático, así como las escalas de tiempo y la inercia asociada a estas respuestas. El capítulo 11 hace referencia a las proyecciones regionales del cambio climático consecuentes con las proyecciones mundiales. Incluye una valoración de la confiabilidad de los modelos a nivel regional y los factores que pueden influir significativamente sobre el cambio climático a escala regional.

El Resumen para Responsables de Políticas y el Resumen Técnico de este informe siguen una estructura paralela e incluyen referencias cruzadas respecto del capítulo y la sección dónde se puede hallar el material resumido en el informe correspondiente. De esta forma, estos componentes del resumen del informe sirven como hoja de ruta respecto del contenido de todo el informe y, de esa forma, se alienta al lector a utilizar ambos Resúmenes.

Un aspecto innovador en este informe es la inclusión de 19 Preguntas Frecuentes, donde los autores dan respuestas científicas a una gama de preguntas generales en una forma que resultará útil para una amplia variedad de fines docentes. Finalmente, el informe contiene unas 250

páginas de material suplementario que fueron revisadas conjuntamente con los borradores de los capítulos y está disponible en CDRom y en las versiones web del informe, para ofrecer un nivel adicional de detalle, como por ejemplo, los resultados de modelos climáticos por separado.

### Algunas preguntas claves relacionadas con políticas y cuestiones analizadas en este informe y en los capítulos pertinentes

Pregunta	Capítulos
¿Cómo ha avanzado la ciencia del cambio climático desde el surgimiento del IPCC?	1
¿Qué se sabe de los agentes naturales y antropógenos que contribuyen al cambio climático y de los procesos subyacentes que participan en él?	2, 6, 7
¿Cómo se han observado los cambios en el clima durante el período de mediciones instrumentales?	3, 4, 5
¿Qué se conoce de los cambios paleoclimáticos, antes de la era del instrumental, en escalas de tiempo que oscilan de cientos a millones de años, y de los procesos que causaron estos cambios?	6, 9
¿Cuán bien entendemos las contribuciones humanas y naturales al cambio climático reciente y cuán bien podemos simular los cambios climáticos mediante la utilización de modelos?	8, 9
¿Cómo se pronostica que cambie el clima en el futuro, a nivel mundial y regional?	10, 11
¿Qué se conoce acerca de los cambios pasados y los pronosticados en el nivel del mar, incluido el papel que desempeña el cambio en los glaciares y los mantos de hielo?	4, 5, 6, 10
¿Acaso están cambiando los sucesos extremos como la precipitación intensa, las sequías y las olas de calor y por qué? y ¿Cómo se espera que estos cambien en el futuro?	3, 5, 9, 10, 11

#### Agradecimientos

Esta evaluación se ha beneficiado grandemente del elevadísimo grado de cooperación que existe dentro de la comunidad científica internacional que estudia el clima y de su coordinación por parte del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa Internacional de Geosfera y las Biosfera (PIGB). En particular deseamos agradecer el enorme compromiso de las personas y agencias de 14 grupos dedicados a la construcción de modelos climáticos en todo el orbe, como también el archivar y distribución de una cifra sin precedentes (más de 30 terabytes) de resultados de modelos climáticos del Programa para el Diagnóstico e Intercomparación de Modelos Climáticos (PCMDI), que ha permitido una comparación más detallada entre los modelos climáticos actuales y una evaluación, más integral que nunca antes, de la naturaleza potencial del cambio climático a largo plazo.

Debemos subrayar que este informe ha dependido totalmente de la pericia, la ardua labor y el compromiso de excelencia contraído por nuestros Autores Principales Coordinadores y los Autores Principales, con la ayuda importante de muchos autores contribuyentes. Además, quisiéramos expresar nuestro sincero agradecimiento al trabajo realizado por los revisores expertos y reconocer el valor de la gran cantidad de comentarios constructivos recibidos. De igual modo, nuestros editores de revisión han desempeñado una función esencial ayudando a los autores para analizar estos comentarios.

El Buró del Grupo de Trabajo I, integrado por Kansri Boonpragob, Filippo Giorgi, Bubou Jallow, Jean Jouzel, Maria Martelo y David Wratt se ha desempeñado como junta editorial y ha ayudado a seleccionar los

autores y dado orientaciones para el diseño inicial del informe. En todo momento, han brindado su apoyo constructivo a los copresidentes del Grupo de Trabajo y por ello les estamos muy agradecidos.

Nuestro sincero agradecimiento a los anfitriones y organizadores de las 4 reuniones de autores principales necesarias para la preparación del informe y reconocemos con gratitud el apoyo recibido de los gobiernos y agencias de Italia, China, Nueva Zelanda y Noruega. La última sesión de aprobación del Grupo de Trabajo I fue posible gracias al Sr. Marc Gillet, por conducto de la generosidad del gobierno francés. La sesión se facilitó en gran medida gracias a Francis Hayes, funcionario de conferencias de la OMM.

Es un placer reconocer el trabajo incansable del personal de la Dependencia de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo I, Melinda Marquis, Kristen Averyt, Melinda Tignor, Roy Miller, Tahl Kestin y Scott Longmore, asistidos capazmente por by Zhenlin Chen, Barbara Keppler, MaryAnn Pykkonen, Kyle Terran, Lelani Arris, y Marilyn Anderson. Agradecemos también el apoyo gráfico y diseño de Michael Shibaoy y Paula Megenhardt. Damos las gracias a Reto Stockli por brindarnos amablemente las imágenes de la Tierra tomadas desde el espacio para la portada de este informe. También agradecemos a David Wratt, David Fahey, y Susan Joy Hassol, su ayuda a los copresidentes en la organización y edición de las Preguntas Frecuentes. Gracias también a Renate Christ, Secretario del IPCC, y al personal de la Secretaría Jian Liu, Rudie Bourgeois, Annie Courtin y Joelle Fernandez quienes brindaron el apoyo logístico para los enlaces con los gobiernos y los viajes de expertos de los países en desarrollo y países con economías en transición.

Rajendra K. Pachauri  
Presidente IPCC

Susan Solomon  
Copresidente IPCC WGI

Dahe Qin  
Copresidente IPCC WGI

Martin Manning  
Jefe IPCC WGI UAT

## Contenido

---

### Prólogo Prefacio

### Prefacio

### Resumen para Responsables de Políticas 1

### Resumen Técnico 19

**RT.1** Introducción 21

**RT.2** Cambios en los impulsores climáticos naturales y humanos 21

**RT.3** Observaciones de Cambios Climáticos 36

**RT.4** Comprensión y atribución del cambio climático 60

**RT.5** Proyecciones de cambios climáticos futuros 69

**RT.6** Hallazgos sólidos e incertidumbres claves 84

### Preguntas más Frecuentes 95

**PMF 1.1** ¿Qué factores determinan el clima de la Tierra? 96

**PMF 1.2** ¿Cuál es la relación entre cambio climático y condiciones meteorológicas? 98

**PMF 1.3** ¿Qué es el efecto invernadero? 100

**PMF 2.1** ¿Cómo las actividades del ser humano contribuyen al cambio climático y como se comparan con las influencias naturales? 102

**PMF 3.1** ¿Cómo cambian las temperaturas de la Tierra? 105

**PMF 3.2** ¿Cómo cambian las precipitaciones? 108

**PMF 3.3** ¿Existe un cambio en los episodios extremos como las olas de calor, sequías, inundaciones y huracanes? 111

**PMF 4.1** ¿Disminuye la cantidad de nieve y hielo terrestre? 113

**PMF 5.1** ¿Aumenta el nivel del mar? 115

**PMF 6.1** ¿Qué ocasionó los períodos glaciales y otros cambios climáticos importantes antes de la Era Industrial? 117

**PMF 6.2** ¿Cuánto de inusual tiene el cambio climático actual comparado con cambios anteriores en la historia de la Tierra? 119

**PMF 7.1** ¿Las actividades del ser humano provocaron el aumento de dióxido de carbono atmosférico y otros gases de efecto invernadero durante la era industrial? 121

**PMF 8.1** ¿Cuán confiables son los modelos utilizados para proyectar el cambio climático futuro? 124

<b>PMF 9.1</b>	<b>¿Puede el calentamiento debido a los gases de efecto invernadero explicar los episodios extremos individuales?</b>	<b>126</b>
<b>PMF 9.2</b>	<b>¿Puede la variabilidad climática explicar el calentamiento del siglo XX?</b>	<b>128</b>
<b>PMF 10.1</b>	<b>¿Se prevén cambios en los episodios extremos como olas de calor, sequías o inundaciones a medida que cambie el clima de la Tierra?</b>	<b>131</b>
<b>PMF 10.2</b>	<b>¿Cuán probables son los cambios climáticos principales o abruptos tales como la pérdida de las capas de hielo o cambios en las circulaciones oceánicas mundiales?</b>	<b>132</b>
<b>PMF 10.3</b>	<b>¿Si se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero ¿con qué velocidad disminuirán sus concentraciones en la atmósfera?</b>	<b>134</b>
<b>PMF 11.1</b>	<b>¿Existe la variación entre regiones de los cambios climáticos proyectados?</b>	<b>136</b>
<b>Anexo I:</b>	<b>Glosario</b>	<b>139</b>