

triunfo como especie pasa por que las generaciones venideras no acusen nuestra irresponsable actividad humana actual y que puedan heredar un planeta sano, dado que este es un derecho de todo hombre independientemente del momento que le haya tocado vivir.

La Fundación San Pablo – CEU, sensible a toda esta problemática y comprometida por declaración institucional con el Desarrollo Sostenible, aporta su “granito de arena” para que nuestra sociedad supere el reto medioambiental al que se enfrenta. Así, en 2006 estableció un convenio de colaboración con la Fundación Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente. El objeto del convenio fue desarrollar actuaciones de formación ambiental cofinanciadas por el Fondo Social Europeo y dirigidas a trabajadores de PyMES y profesionales autónomos, así como a colectivos sociales desfavorecidos. Con el título **“Aplicación de Energías Renovables como condición necesaria para alcanzar el verdadero Desarrollo Sostenible”**, el proyecto contempló cursos “on-line”, monográficos y estudios sobre energía eólica, mareomotriz, fotovoltaica, solar térmica, arquitectura bioclimática, hidrógeno y biocombustibles.

6. EL CAMBIO CLIMÁTICO. ESTADO GENERAL DE LA CUESTIÓN Y ANÁLISIS CRÍTICO

Miguel Acosta López

El tema por excelencia que ocupa las prioridades ecológicas de los últimos años es el cambio climático. En este sentido, el año 2007 fue especialmente significativo porque además de presentarse uno de los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático más aceptados por parte de la comunidad científica. Este Panel ha recibido el Premio Nóbel de la Paz junto con el exVicepresidente de los Estados Unidos Al Gore, muestra indudable del interés e importancia del tema ambiental en general y del calentamiento global del planeta en particular.

Aunque siempre ha habido cambio climático¹ a lo largo de la historia debido a que nuestro sistema ecológico es dinámico y sufre alteraciones a lo largo del tiempo por influencias exógenas y endógenas, en estas últimas décadas se entiende como cambio climático las anomalías aceleradas que se han detectado durante el siglo pasado dando como consecuencia el calentamiento global del planeta. Aquí estudiaremos algunos aspectos relacionados con este tema para intentar discernir aquellos aspectos reales de las expectativas e hipótesis que se barajan y así tener cierto criterio para elaborar un juicio propio.

I. Aspectos científico-técnicos

a. El efecto invernadero y calentamiento global del planeta

Nuestro planeta recibe del sol numerosas radiaciones entre las que se encuentran aquellas que producen calor. De los rayos que llegan, algunos son absorbidos por la atmósfera y la superficie terrestre, pero otros son reflejados hacia el espacio exterior. La absorción del calor resulta beneficiosa para la biosfera debido a que permite mantener una temperatura estable apta para el desarrollo de la vida que tenemos. Los gases que retienen el calor atmosférico se denominan gases de efecto invernadero, porque al no permitir que salgan al exterior son como una manta que produce una temperatura especial sobre todo el planeta. Podemos pensar que si no se retuviera el calor, la temperatura media del planeta sería como 33°C más fría, lo que exigiría un tipo de vida muy diferente del existente en la Tierra. El problema surge cuando dicho efecto invernadero sobrecalienta la temperatura ordinaria alterando el comportamiento en toda la biosfera.

Los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el ozono (O₃) y el óxido nitroso (N₂O). De todos ellos, el que más calor retiene es el dióxido de carbono con un nivel aproximado del 60% y es el que más preocupa con relación al cambio climático porque se ha ido notando un aumento continuo desde finales del siglo XIX y acelerado en los últimos cuarenta años.

Las primeras ideas con relación al calentamiento global surgen a raíz de las investigaciones que pretendían explicar el fenómeno de las glaciaciones prehistóricas. En 1896, el científico sueco y más tarde Premio Nóbel, Svante Arrhenius propuso la teoría de que el aumento del dióxido de carbono tenía una relación directamente proporcional con el aumento de la temperatura², lo que se pudo verificar más claramente en el siglo XX. Aunque la teoría de Arrhenius se mantuvo olvidada durante algún tiempo, alrededor de

1940 se realizaron mediciones de radiaciones de onda larga mediante espectroscopia de infrarrojos junto con estudios geológicos que buscaban analizar las variaciones climáticas. En 1956, Gilbert Plass concluyó que la adición del dióxido de carbono a la atmósfera capturaba radiaciones infrarrojas que deberían haberse perdido en el espacio, lo cual provocaba un sobrecalentamiento del planeta³. En esta época no se contaban con datos científicos sólidos que pudieran respaldar las diferentes hipótesis que se formulaban con relación al cambio climático. Unos pocos estudiosos establecieron hipótesis con relación a los gases de efecto invernadero pero con un interés mínimo por parte de la comunidad científica. "Revelle y Suess, como Arrhenius, Callendar, Plass y todos cuantos habían realizado hasta entonces alguna aportación al descubrimiento del calentamiento global, habían considerado la cuestión como un problema marginal. Veían en él una oportunidad para publicar algún que otro artículo, una distracción de su principal trabajo profesional, al que no tardaban en volver"⁴.

Fue Charles David Keeling en 1958 quien dio un nuevo paso importante en la investigación del dióxido de carbono. Geoquímico del Instituto Tecnológico de California, Keeling por curiosidad científica dedicó parte de su tiempo a medir el CO₂ atmosférico de la manera más rigurosa posible. Pudo colocar algunos instrumentos de medición en la cima del volcán Mauna Loa, en Hawai, y otro en la Antártida. "A medida que aumentaban los datos del Mauna Loa, la información fue cada vez más impresionante y demostró que los niveles de CO₂ eran sensiblemente más altos año tras año. Lo que había empezado siendo para Keeling un trabajo temporal estaba convirtiéndose en una carrera para toda la vida"⁵. Gracias a este estudio y a su continuidad se cuenta con casi medio siglo de mediciones ininterrumpidas⁶ donde puede observarse el continuo aumento del dióxido de carbono en la atmósfera.

En la década de los '80 es cuando la comunidad científica comenzó a admitir la posibilidad de un aumento inusual de la temperatura

global con relación al siglo pasado. En el año 1988, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) junto con la Organización Mundial Meteorológica crearon conjuntamente el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El IPCC tiene por objeto analizar la información disponible sobre los elementos científicos, las repercusiones y los aspectos económicos del cambio climático; así como las opciones para atenuar los efectos de dicho cambio o adaptarse al mismo. Me detendré a explicar brevemente la tarea del IPCC porque nos referiremos a sus informes y conclusiones a lo largo de este trabajo.

El IPCC no realiza investigaciones ni controla datos relativos al clima u otros parámetros pertinentes, sino que basa su evaluación principalmente en la literatura científica y técnica revisada por homólogos y publicada. Una de las principales actividades del IPCC es hacer una evaluación periódica de los conocimientos sobre el cambio climático. También elabora Informes Especiales y Documentos Técnicos sobre temas en los que se consideran necesarios la información y el asesoramiento científicos e independientes, y respalda la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) mediante su labor sobre las metodologías relativas a los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero⁸.

El IPCC consta de tres Grupos de trabajo y un Equipo especial:

- 1) El Grupo de trabajo I evalúa los aspectos científicos del sistema climático y el cambio climático;
- 2) El Grupo de trabajo II evalúa la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales al cambio climático, las consecuencias negativas y positivas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación al mismo;
- 3) El Grupo de trabajo III evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y de atenuar los efectos del cambio climático;

4) El Equipo especial sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero se encarga del Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

En la actualidad cuenta con más de 2.500 científicos y expertos de más de sesenta países que investigan diferentes campos: climatología, ecología, geología, oceanografía, economía, entre otros. Como veremos más adelante, numerosos científicos criticaron los modelos iniciales del IPCC debido a que los mismos se apoyaban en datos imprecisos, incompletos o parciales. Las predicciones daban como resultado unos rangos muy amplios de estimación con relación al futuro, lo cual no ayudaba a definir las medidas políticas que deberían llevarse a cabo. Esto se fue mejorando en estudios posteriores.

En el año 2007, el Comité Nóbel Noruego adjudicó el Premio Nóbel de la Paz al IPCC y a Al Gore por "sus esfuerzos en construir y diseminar un amplio conocimiento acerca del cambio climático realizado por el hombre, y por formar una fundación con las medidas que son necesarias para contrarrestar dicho cambio". Este hecho es un importante reconocimiento por la tarea llevada a cabo por este organismo y por Albert Gore, aunque el premio tiene un cariz político, como siempre lo ha tenido el Nobel de la Paz, señala el interés internacional y sugiere el rumbo de acción e investigación de los próximos años.

En el último informe presentado en febrero de 2007 por el Grupo de Trabajo I del IPCC, una de las conclusiones ha sido la de confirmar que existe un aumento de los gases de efecto invernadero con causas antropogénicas. Dicho aumento se atribuye sobre todo a la combustión del petróleo y derivados de la producción del cemento, el carbón y el gas, y a los aerosoles. Otro porcentaje menor se debe a la deforestación y cambios en el suelo de los trópicos. En dicho informe también se mencionan los siguientes datos⁸:

- a) El calentamiento del sistema climático es inequívoco, tal como lo evidencian las observaciones de los incrementos en

las temperaturas medias del aire y los océanos, el derretimiento generalizado del hielo, nieve y glaciares; y el incremento medio global del nivel del mar. Once de los últimos doce años (1995-2006) están en el ranking de los doce años más calurosos en los registros de temperaturas instrumentados desde 1850.

- b) Los análisis y mediciones, por globos sonda y satélites, de las capas baja y media de la troposfera muestran tasas de calentamiento similares a la de los registros de temperaturas de superficie, cuando tendrían que ser menores.
- c) El contenido medio de vapor de agua en la atmósfera ha crecido desde, al menos, los años ochenta sobre la tierra y los océanos, así como en la troposfera superior. Este incremento es coherente con la cantidad extra de vapor de agua que el aire más cálido puede contener.
- d) Las observaciones desde 1961 muestran que la media de temperatura del océano ha aumentado hasta profundidades de, al menos, 3.000 metros, y que el océano ha estado absorbiendo más del 80% del calor añadido al sistema climático. El calentamiento hace que el agua de mar se expanda, contribuyendo al aumento del nivel del mar.
- e) Los glaciares de montaña y las capas de nieve han disminuido en ambos hemisferios. Las reducciones de glaciares y casquetes de hielo también contribuyeron al aumento del nivel del mar.
- f) Las placas de hielo de Groenlandia y la Antártida han contribuido muy probablemente¹⁰ Los reportes científicos del IPCC han utilizado la siguiente terminología para explicar los diferentes grados de probabilidad: prácticamente seguro (mayor del 99% de que el resultado sea verdadero); extremadamente probable (mayor del 95% de probabilidades); muy proba-

ble (mayor del 90%); probable (mayor del 66%); más probabilidad que sí que de que no (mayor del 50%); improbable (menor del 33% de probabilidad); muy improbable (menor del 10%); extremadamente improbable (menor del 5%).[al aumento del nivel del mar entre 1993 y 2003. La pérdida dinámica del hielo es suficiente para explicar la mayor parte de la pérdida neta de la masa de la Antártida y aproximadamente la mitad de la pérdida de la masa neta de Groenlandia.

- g) A escala continental, regional y de cuenca oceánica se han observado numerosos cambios a largo plazo en el clima. Éstos incluyen cambios en el hielo y las temperaturas del Ártico, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, salinidad de los océanos, patrones de viento, y aspectos de tiempo extremo, que incluyen sequías, precipitaciones fuertes, olas de calor e intensidad de ciclones tropicales.

Actualmente, el problema del cambio climático se refiere a la alteración del equilibrio natural de la biosfera como consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero principalmente por causas antropogénicas. El escenario más aceptado de este cambio climático se refiere a un calentamiento global del planeta, no a un período de glaciación, por ese motivo, cambio climático y calentamiento global estarán directamente relacionados.

b. Cambio climático en el pasado y sus posibles causas naturales

El cambio climático no es un fenómeno nuevo en nuestro planeta. Para dar lugar a la configuración actual de la Tierra se ha tenido que pasar por numerosos cambios bio-geo-químicos. Hay numerosas teorías que intentan explicar no solamente la formación de la biosfera, o la aparición de los seres vivos y su desarrollo a partir de unas primeras células, sino además la formación de los conti-

mentos y de la atmósfera. Hay unanimidad al afirmar la naturaleza dinámica del universo.

Con relación al pasado más reciente, el IPCC ha señalado en sus informes¹⁰ que desde la época preindustrial (alrededor de 1750) los seres humanos hemos alterado la atmósfera de tal manera que comenzamos a influir en el clima. El principal culpable de este incremento sería el dióxido de carbono que presenta un incremento del 31% de la concentración en la atmósfera. La actual concentración de dióxido de carbono no había sido excedida en los últimos 420.000 años y con una probabilidad del 66 al 90% en los últimos 20 millones de años. Eso quiere decir que actualmente tenemos una tasa de concentración de este gas sin precedentes desde hace miles de años. Las principales fuentes de emisión de dióxido de carbono antropogénicas se debe a la quema de combustibles fósiles (75%) y cambios en la superficie forestal (deforestación). Otro gas que también se ha incrementado es el metano que alcanza una proporción del 15% desde 1870. El metano es más potente que el dióxido de carbono en cuanto al efecto invernadero, sin embargo éste tiene mayor influencia por su tiempo de permanencia en la atmósfera. Mientras que la duración del metano es de 12 años, el CO₂ dura de 5 a 200 años¹¹.

A lo largo de la historia ha habido numerosas variaciones climáticas, algunas han producido las conocidas edades glaciales, que presenciaron, por ejemplo, la desaparición de los dinosaurios. Sin embargo, ¿cómo se puede medir la temperatura de millones de años atrás? El registro más antiguo que se conoce con un termómetro ha sido en el año 1659 en Inglaterra.¹² Sin embargo, hay otros métodos indirectos que han permitido establecer diferentes secuencias climáticas a lo largo de la historia. En dichos métodos se cuenta con los llamados "indicadores *proxy*", por ejemplo: las diferentes capas de hielo que se han acumulado en los polos, la concentración de sales y ácidos, la cantidad de polen o el resto de gases atrapados en burbujas de aire. Estos estudios están competiendo a una

disciplina denominada Paleoclimatología. Además, "podemos calcular la temperatura observando los anillos de los árboles¹³ (ya que los anillos son más anchos cuando el clima es más cálido), los corales (midiendo los anillos de crecimiento o las huellas de otros elementos), los sedimentos en lagos, océanos, perforaciones, etc"¹⁴.

A continuación comentaremos brevemente algunas teorías que intentan explicar la causa de las variaciones climáticas de manera natural, es decir, sin la intervención humana.

b.1. Impactos de meteoros, asteroides o cometas

Una de las explicaciones acerca de la causa del cambio climático en el pasado proviene de los impactos que recibe nuestro planeta del exterior. Se sabe que miles de meteoros se dirigen a la Tierra y pueden tener diferentes diámetros, desde el tamaño de una semilla hasta de más de un kilómetro. Por lo general, cuando un meteorito impacta contra la Tierra, se desintegra al penetrar en la atmósfera; sin embargo, puede haber casos de meteoros de gran tamaño. Algunos científicos coinciden en plantear la teoría de que uno de esos meteoros de gran tamaño causó la extinción de los dinosaurios cuando impactó en la península del Yucatán. Se piensa que tenía ocho kilómetros de diámetro y su impacto generó una alteración atmosférica de tal magnitud que contaminó el aire que respiraban los seres vivos de esa época. Por eso se puede comprender la extinción masiva, planetaria y súbita de los dinosaurios. La masa de aire contaminado no solamente cambió la composición atmosférica de ese momento, sino que además llegó a cubrir el sol con una masa de materias volátiles en suspensión que afectó a la temperatura, y por ende al clima, de todo el planeta.

Los asteroides se comportan de manera más ordenada ya que orbitan el sol entre Marte y Júpiter, pero alguno puede salirse de la

órbita y suponer una amenaza. Estos asteroides están formados por rocas y metal que son restos de la formación de nuestro propio sistema solar.

Otro peligro posible consiste en la colisión con cometas. Son astros que giran alrededor del sol pero en una órbita diferente a la de los planetas y presentan un estado de fragmentación que reduce su diámetro con mayor rapidez. La mayoría de los cometas orbitan a gran distancia de la Tierra, pero algunos como el Halley y el Hale-Bopp han pasado relativamente cerca de nuestro planeta. La colisión con el cometa Halley podría no solamente alterar el clima sino incluso acabar con la Tierra ya que su diámetro es casi similar al del Sol.

Varios países y sus respectivos observatorios astronómicos tienen programas de vigilancia espacial cuyo objetivo principal es detectar posibles amenazas de impactos. Así, se ha podido predecir el impacto del asteroide 2007 WD5 para el 30 de enero de 2008. Algunos de estos programas están a cargo de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) como el desarrollado en el observatorio de Kitt Peak en Arizona; el programa de asteroides cercanos a la Tierra del observatorio de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos en Hawaii; la prospección de asteroides interplanetarios en Monte Palomar, California; o el programa del Observatorio de la Costa Azul en Francia.

b.2. Efecto Milankovich

Algunos científicos admiten como teoría probable que una de las causas no antropogénicas del cambio climático se debe a la distancia y posición de nuestro planeta con relación al Sol en determinados períodos. Los movimientos de precesión de la Tierra hacen que en algunos momentos se encuentre más cerca o más lejos del Sol y con una posición del eje más o menos inclinada. A esto se denomi-

na el efecto Milankovich, ocurre de manera cíclica (23, 41 y 100 mil años)¹⁵ y ha permitido establecer las épocas glaciales e interglaciales. El último período interglaciar comenzó hace 10.000 años (Holoceno), el deshielo hizo subir el agua de los océanos en aproximadamente 120 metros y las temperaturas eran más templadas que las del siglo XX.¹⁶ De cualquier manera, en los últimos 40.000 años, el período más templado y estable ha sido el nuestro, el Holoceno, que ha comenzado hace 10.000 años, lo que posibilitó el desarrollo de la vida con sus características actuales.

“En general, nadie duda de que los siglos anteriores al XX fueron más fríos. Este fenómeno se conoce en historia como «Pequeña Edad del Hielo», que abarca desde 1400 hasta 1900. (...) De forma similar, la primera parte de los datos de Mann indican un clima algo más templado, con algunos períodos muy similares a las temperaturas del siglo XX. Una vez más, todo el mundo coincide en que la primera parte del segundo milenio fue más templada, un período que pasó a la historia como «Período Templado Medieval». En esa época, los climas 2-3 °C más cálidos permitieron a los vikingos la colonización de la inhóspita Groenlandia y de Terranova. De forma similar, los cerezos japoneses volvieron a florecer en el siglo XII y la línea de nieve de las Montañas Rocosas se trazaba unos trescientos metros por encima de donde está actualmente”¹⁷.

De cualquier manera, Bjørn Lomborg advierte que hay muchas diferencias en cuanto a la estimación histórica de las temperaturas entre distintos estudios científicos (Grupos de Mann, Jones, Briffa, Huang o Pollack).¹⁸ Esto se debe a las limitaciones de los datos *proxies*. Por ejemplo, algunos realizaron los registros a partir de los anillos de los árboles pero sólo en Norteamérica (Mann); además, esos datos están limitados por las zonas terrestres, donde no cuenta toda la superficie del agua de los océanos; el crecimiento de los árboles no dependen solamente de la temperatura, ¿cómo se pue-

den aislar los demás factores para tener unos datos más fidedignos?; finalmente, los árboles crecen principalmente en verano y solo durante el día, con lo que no se puede medir realmente las temperaturas anuales. Todo esto sugiere que la conclusión con relación a la historia de la evolución climática todavía no puede ser llevada a cabo con rigor científico debido a que no tenemos parámetros fiables de comparación. Nos falta mayor perspectiva histórica y un registro fiable llevado a cabo durante más tiempo.

b.3. La hipótesis de Svensmark y la actividad solar

Henrik Svensmark, del Centro Nacional del Espacio de Dinamarca, en Octubre de 2006 publicó en el *Proceedings of Royal Society*, la revista científica de matemática, ciencias físicas e ingeniería de la *Royal Society of London*, una teoría que sostiene que gran parte de la alteración climática del planeta se debe a la influencia del Sol.²⁰ En 1991, un grupo dirigido por Eigil Friis-Christensen, catedrático del Instituto Meteorológico Danés había encontrado una correlación entre la actividad solar y el ascenso de la temperatura en los últimos cien años. A partir de allí, desde 1996 un grupo de científicos daneses encabezados por Svensmark comenzaron a indagar y a realizar experimentos acerca del comportamiento del aumento de gases en las partes bajas de la atmósfera. Actualmente, se siguen estudiando las causas que podrían explicar la correlación aumento de actividad solar-aumento de temperatura.

Las manchas solares sirven de señal para detectar un aumento de actividad en el sol y en sus campos magnéticos, tal como lo había indicado Eugene N. Parker de la Universidad de Chicago. Al estallar las manchas solares por la actividad solar se libera una enorme cantidad de energía al espacio que son arrastradas por los vientos solares. Cuando la actividad solar es especialmente alta, la energía liberada puede alcanzar y afectar a los rayos cósmicos — que son restos de explosiones de novas y supernovas— alejándolos de la Tierra. Svensmark pudo encontrar una correlación entre los rayos

cósmicos y la formación de las nubes. A mayor cantidad de rayos cósmicos, más nubes; y cuanto más nubosidad hay en la atmósfera, más se resguarda la Tierra de la acción directa de los rayos del sol. Por tanto, si los rayos del sol provocan una burbuja de helio que aleja a los rayos cósmicos, en especial en períodos de intensa actividad, esto hace que haya menos nubes en la atmósfera y por tanto que aumente la temperatura de la Tierra. De esta manera, la teoría de Svensmark explica la relación entre la actividad solar y el clima terrestre²⁰.

Sin embargo, los estudios no han finalizado, la teoría todavía no está demostrada ya que el estudio de las nubes todavía no se halla suficientemente comprendido. El comportamiento de las nubes es tan complejo que los modelos informáticos todavía no son fiables.

En relación a este tema de la actividad solar, se puede mencionar la alerta emitida por la NASA en marzo de 2006. Un equipo dirigido por la Dra. Mausumi Dikpati del Centro Nacional de

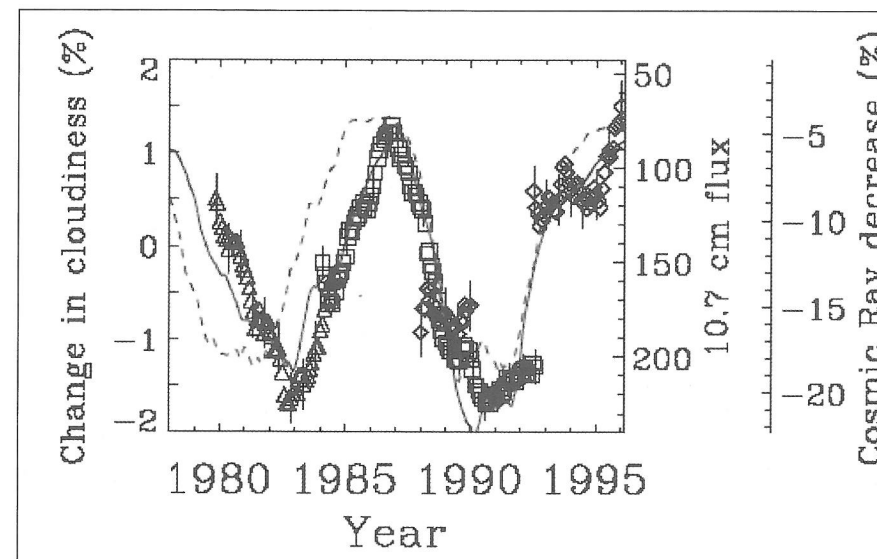


Gráfico 1: Correlación de Svensmark entre los rayos cósmicos y las nubes²¹.

Investigaciones Atmosféricas (*National Center for Atmospheric Research* ó NCAR) ha pronosticado un ciclo solar de un 30 a un 50% más intenso que el anterior²³ lo que significa que en los próximos años se produciría un estallido de actividad solar, poco menor que el del histórico máximo solar de 1958, que podría aumentar la temperatura terrestre y causar anomalías en los aparatos electromagnéticos. Existen distintos tipos de variaciones solares, la más frecuente, descubierta hace dos siglos atrás, es el ciclo de las manchas solares que se produce cada once años. En esos ciclos las manchas aumentan y disminuyen con efectos que en su mayoría casi no alteran la temperatura terrestre. Excepto cuando la intensidad es muy grande, como ocurrió en el año 1958, y como se prevé también ahora para el 2011. Algunos científicos atribuyen a estos fenómenos solares el aumento de la temperatura, más que a las emisiones de gases de efecto invernadero.²⁴ Dicen que esta teoría explica mejor los cambios de temperatura desde 1860 a 1950. De cualquier manera, este es un punto de controversia científica, uno más de los que veremos a continuación.

b.4. El fusil de clatratos

La Comisión Europea en febrero de 2006 ha difundido una hipótesis que hace referencia a fenómenos geológicos submarinos²⁴. La hipótesis del fusil de clatratos surge más bien como una amenaza al aumento de gases de efecto invernadero que contribuiría al aumento de la temperatura, antes que la causante del clima actual. Consiste en la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de metano procedentes del fondo de los océanos.

La hipótesis del “fusil de clatratos” (*clathrate gun hypothesis*), formulada en 2002 por el estadounidense James Kennett, profesor de la Universidad de Santa Bárbara. Según él, los hidratos de metano se acumularían durante los períodos glaciares (cargamento del fusil) y después se disociarían al principio del calentamiento, conllevando

una amplia liberación del metano (el fusil dispara) que, en un movimiento de retroacción, aceleraría la subida de las temperaturas. Su propio autor confiesa que esta idea es sólo una pista de trabajo, ya que se ignora aún a qué velocidad los clatratos se acumulan y cuántos existen.

“Los clatratos son compuestos en los que las moléculas de un gas están encapsuladas en una red cristalina de moléculas de otro compuesto, usualmente agua. Se sabe que los clatratos de agua están presentes en cantidades abundantes en el fondo oceánico, donde dominan presiones suficientemente elevadas para estabilizarlos. En estos hidratos las moléculas de agua forman cajas en las que un gas ‘huésped’, como el metano, queda atrapado”.²⁵

Se ha descubierto que el 90% del metano oceánico, tan pronto como se produce, se degrada por procesos microbiológicos que utilizan la importante concentración de sulfato llevado a los fondos por las aguas marinas. Se estima que existen unos 12 billones de toneladas de metano mezcladas con sedimentos en filones. La hipótesis mecánica advierte de la aparición de inestabilidades en las capas de sedimentos depositadas en taludes submarinos inclinados que podrían desencadenar amplios flujos de materias. En tales deslizamientos, los clatratos presentes en la masa o en el entorno pueden disociarse, bajo el choque, provocando el desprendimiento del metano que almacenan.

Así, “el fondo marino se comporta como un bioreactor anaeróbico gigante en el que se producen enormes cantidades de metano”, según el profesor Bo Barker Jørgensen, del Instituto de Biología Marina Max Planck de Bremen, especialista implicado entre otras cosas en el proyecto europeo DeepBug.²⁶ La hipótesis del fusil de clatratos también fue propuesta como una de las causantes de la extinción masiva del Pérmico-Triásico ocurrida hace aproximadamente 250 millones de años.

c. Las causas antropogénicas

El 28 de junio de 1974 la revista *Nature* publicó un artículo de los investigadores F. Sherwood Rowland y Mario Molina donde se explicaba que unos compuestos químicos producidos por el hombre denominados Clorofluorcarbonos (CFC) descomponían las moléculas del ozono estratosférico. El ozono es una sustancia que protege a los organismos de los efectos dañinos de los rayos ultravioletas (UVA) que nos llegan desde el Sol. Sin la protección de la capa de ozono gran parte de la vida terrestre se vería seriamente afectada. En los seres humanos, en concreto, se verificaron casos de cánceres de piel por los efectos de una continua exposición a los rayos UVA.

Los CFC's fueron utilizados desde 1928 por la *General Motors* al ver sus propiedades refrigerantes que, al parecer, tenían muchas ventajas. No eran tóxicos, eran estables y baratos, de fácil almacenamiento, etc. Comenzaron a utilizarse en forma masiva en equipos de aire acondicionado y espumación, como disolventes, esterilizantes y propulsores en aerosol. Con el paso de los años este producto se fue extendiendo y su utilización se multiplicó rápidamente en los Estados Unidos y Europa. En la década del 80 los datos científicos corroboraron la hipótesis de la destrucción masiva del ozono estratosférico y los riesgos de su disminución. En 1985 los satélites de la NASA confirmaron la gran alteración sufrida en la capa de ozono mediante imágenes que mostraban lo que se denominó el "agujero de la capa de ozono" de la Antártida.

A partir de aquí, y tras numerosas reuniones de expertos internacionales, los países decidieron frenar la emisión de los CFC's para evitar mayores daños. Con esta intención se firmó el Protocolo de Montreal en 1987 que fijaba como meta una reducción del 50% de las emisiones de estos gases y del 100% en el año 2000. En 1988 los Estados Unidos de América ratificaron dicho protocolo y desde 1996 entró en vigor la prohibición de la producción industrial de los

CFC's.²⁷ Las medidas adoptadas consiguieron frenar la disminución del ozono y han permitido su recuperación. Además, se han formado grupos de investigación y observación para analizar su evolución y detectar la incidencia de los gases que reemplazaron a los CFC's, como los hidrofluorcarbonos o los perfluorocarbonos.²⁸

Este suceso nos muestra dos aspectos importantes que afectan al tema del cambio climático. Por un lado, la actividad humana ha causado un daño al medio ambiente, específicamente en la composición de los gases atmosféricos; y por otro, el hombre ha podido encontrar una solución para frenar y en cierta forma reparar dicho daño con relación a la capa de ozono. Para solucionar el problema de la capa de ozono ha hecho falta un acuerdo internacional debido a que su solución requería una respuesta global.

Actualmente la comunidad científica está de acuerdo en que existe un calentamiento global de nuestro planeta, el punto del debate no se centra en este tema, sino en sus causas. Aquí es donde surge la controversia, ¿hasta qué punto el hombre es el causante de este cambio climático acelerado que provoca el calentamiento global? Hemos visto que puede haber una serie de causas naturales que provoquen este fenómeno, pero también tenemos informes y estudios que nos señalan la progresiva contaminación y alteración que produce el sistema de vida humano. Con esto último me refiero a los procesos de explotación masiva de recursos naturales, al consumo indiscriminado de algunos de ellos o al modelo de utilización de las materias primas, que se han disparado desde finales del siglo XIX debido a la tecnología que se ha ido desarrollando con un ritmo sin precedentes en la historia de la humanidad. También hay acuerdo en decir que no hay una única causa del cambio climático, sino que son varias y pueden coincidir tanto las naturales como las antropogénicas.

Aunque el IPPC es un organismo que ha recibido muchas críticas y lo han calificado de catastrofista, poco fiable y poco objetivo, lo cier-

to es que hasta el día de la fecha es el medio que han dispuesto las autoridades internacionales para intentar acometer el tema del cambio climático. También hay que admitir que las conclusiones de sus informes de 2007 difieren mucho de los primeros informes elaborados, son más prudentes en sus conclusiones pero siguen ofreciendo datos contrastables y de un número amplio y competente de especialistas de todo el mundo. Sabemos que el conocimiento de los diferentes aspectos de los ecosistemas es difícil de estudiar y los modelos informáticos o los métodos actuales de investigación, aunque mejores que décadas anteriores, necesitan ser mejorados. Establecer pronósticos futuros con los datos que tenemos puede ser irresponsable desde el punto de vista del método científico, pero la sociedad demanda respuestas, y los políticos necesitan establecer cauces de acción y medidas de prevención. Se puede decir que el IPPC es lo que tenemos a día de la fecha y es importante oír sus informes aunque luego lo maticemos confrontando con datos locales, regionales o de organismos que puedan merecernos mayor confianza. Por este motivo, este trabajo utiliza como fuente principal las investigaciones y conclusiones del IPPC.

Según el IPPC hay causas antropogénicas que fomentan el cambio climático. Las peores causas son las emisiones de gases de efecto invernadero, es decir, la emisión resultante de la quema de combustibles fósiles, de productos químicos industriales. Veamos los datos estadísticos que ofrece el IPCC.²⁹

Entre 1970 y 2004, las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), gases hidroclorofluorcarbonados (HFCs), gases perclorofluorcarbonados (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆) medidas por su potencial de calentamiento mundial (PCM), se han incrementado en un 70% (24% entre 1990 y 2004), pasando de 28,7 a 49 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂-eq). Las emisiones de estos gases se han incrementado en diferentes tasas. Las emisiones de CO₂ han aumentado entre 1970 y 2004 alrededor de un 80% (28% entre

1990 y 2004) y representaban el 77% del total de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) antropogénicas de 2004.

El mayor crecimiento en las emisiones mundiales de GEI entre 1970 y 2004 provino del sector de suministro energético (un incremento de 145%). El incremento en emisiones directas del transporte en este período fue de un 120%, de la industria un 65% y de los usos del suelo, cambio de usos del suelo y silvicultura y (LULUCF en sus siglas en inglés) un 40%. Entre 1970 y 1990 las emisiones directas de la agricultura crecieron un 27% y las de las construcciones un 26%, permaneciendo estas últimas en los niveles alcanzados en 1990. Sin embargo, el sector de la construcción presenta un alto nivel de uso de electricidad, y por ello el total de emisiones directas e indirectas en este sector es mucho mayor (75%) que el de emisiones directas [1.3, 6.1, 11.3, Gráficos 1.1 y 1.3 del documento original].

El efecto en las emisiones mundiales de la disminución de la intensidad energética mundial (-33%) entre 1970 y 2004 ha sido menor que el efecto conjunto del crecimiento de la renta per cápita mundial (77 %) y el crecimiento de la población mundial (69%), ambos impulsores de las crecientes emisiones de CO₂ relacionadas con la energía. La tendencia a largo plazo de una disminución de la intensidad del carbón en el abastecimiento energético se revirtió después de 2000.

Aún resultan significativas las diferencias entre los países en términos de ingreso per cápita, las emisiones per cápita y la intensidad de la energía. En 2004, los países del Anexo I de la CMCC (Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas) constituían el 20% de la población mundial, producían el 57% del Producto Interior Bruto basado en la Paridad del Poder Adquisitivo (PIBppa), y representaban el 46% de las emisiones globales de los gases de efecto invernadero (GEI).

Las emisiones de sustancias que destruyen el de ozono (ODS en

sus siglas en inglés) controladas por el Protocolo de Montreal, y que son también GEI, han disminuido significativamente desde la década de 1990. Las emisiones de estos gases en 2004 eran alrededor del 20% del nivel alcanzado en 1990. Una serie de políticas, incluidas las de cambio climático, seguridad energética, y desarrollo sostenible, ha sido eficaz en la reducción de emisiones de GEI en diferentes sectores y en muchos países. La escala de estas medidas, sin embargo, no ha sido suficientemente amplia como para contrarrestar el crecimiento mundial de las emisiones.

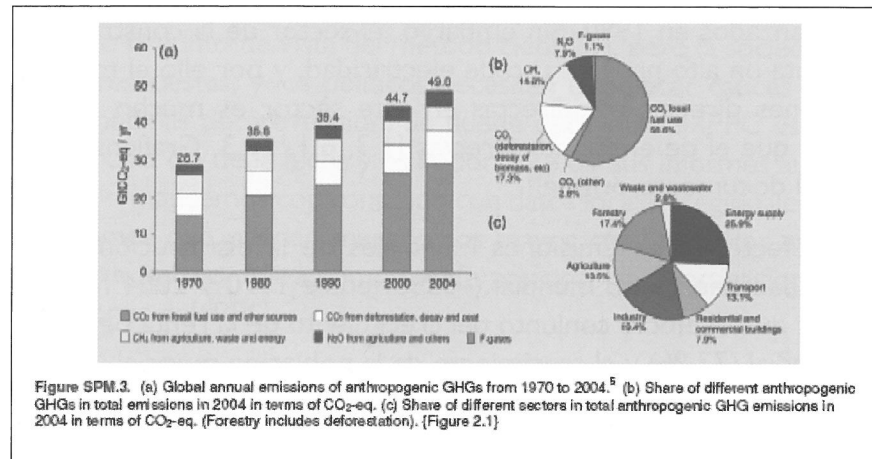


Gráfico 2: Global anthropogenic GHG emissions

Como se puede observar, la complejidad de un estudio de la situación atmosférica mundial todavía tiene sus desafíos. La ciencia ha ido avanzando en sus investigaciones y hay datos que nos señalan anomalías preocupantes. La acción humana claramente interviene en la alteración del ecosistema, no sólo de la atmósfera, también del agua y del suelo. Los problemas ambientales no se reducen al cambio climático, también se refieren a la deforestación, la biodiversidad, la contaminación en las distintas zonas de la biosfera, la utilización indiscriminada de recursos renovables y no renovables

que muchas veces tienen fines comerciales, pero también de supervivencia en el caso de las naciones en desarrollo.

Antes de pasar a un breve análisis ético del comportamiento que debemos tener para con nuestro entorno, es preciso analizar los pronósticos que arrojan los datos científicos que hemos estado analizando hasta ahora.

d. Los escenarios del IPCC

¿Es posible predecir el clima del futuro? El clima es un sistema muy complejo donde intervienen como elementos la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, los casquetes polares, los distintos seres de la biosfera terrestre y sobre todo, el tiempo. La interrelación es tan variada y flexible que el hecho de formular predicciones a largo plazo es un desafío arriesgado, y en algún caso podría ser incluso irresponsable. Basta con observar el grado de fiabilidad que tienen los pronósticos meteorológicos de unos pocos días. Con todo, muchos científicos utilizan simuladores mediante ordenadores (*Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCM)*) donde analizan y proyectan sus resultados. El IPCC también trabaja con modelos con el fin de estimar escenarios futuros. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro donde sobre todo se estudia el impacto de las emisiones de los gases de efecto invernadero. Se plantean diferentes líneas evolutivas que veremos a continuación y que representan cambios demográficos, sociales, económicos, tecnológicos y medioambientales³⁰. De cualquier manera, podemos decir que todavía no estamos en condiciones de “garantizar” ningún futuro por dos motivos principales: 1) hace falta mayor perspectiva histórica para el análisis de los datos climáticos para alimentar y mejorar adecuadamente los modelos informáticos, y que éstos resulten fiables; 2) los escenarios propuestos cubren un espectro tan amplio de posibilidades acerca de la evolución socio-económica que resulta difícil escoger alguno

que sea apropiado. A continuación, se intentará justificar la afirmación de los dos puntos anteriores. Para ello, veremos de forma general los aspectos más llamativos con relación a los escenarios del IPCC, luego nos detendremos en las consecuencias futuras previstas por estos escenarios para terminar haciendo un juicio de valor acerca del desarrollo más científico de esta parte del estudio³¹

En estos momentos el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) es la autoridad científica de mayor peso mediático en el ámbito internacional, es el punto de referencia de las principales organizaciones gubernamentales y no gubernamentales activistas de la ecología y no cabe duda de que reúne al mayor grupo de científicos investigadores de todo el mundo³² Sin embargo, no está exento de influencias políticas. Los miembros que componen el Panel son designados por los gobernantes de los diferentes países, de alguna manera son sus representantes. Los informes dirigidos a los responsables de políticas son aprobados y consensuados por los miembros de los gobiernos línea a línea, lo cual ha sido criticado varias veces por grupos de investigadores independientes, tanto los que están a favor de las principales tesis del IPCC como los que se oponen³³.

Ya hemos visto algunos datos del IPCC con relación a los efectos del aumento de la temperatura global del planeta, pero falta mostrar los escenarios propuestos con relación al futuro. En ellos se tienen en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero y las variables socioeconómicas que se verán afectadas. Al principio (1990) los primeros cuatro escenarios del IPCC se plantearon con una mirada pesimista hacia el futuro, porque se consideraba que no se podía hacer prácticamente nada para limitar la emisión de gases invernadero. Luego (1992) se añadieron nuevos escenarios hasta completar seis tipos (IS92a-f), para ello se tuvieron en cuenta la variación de emisiones fósiles y no fósiles (FI = intensivo; B = equilibrado; T = transición de uno a otro) que no se había incluido antes. Los datos de estos escenarios se volvieron a actualizar al ini-

cio del nuevo milenio en el año 2000. Desde entonces, el “Escenario de Emisiones” cuenta con seis líneas principales que dan lugar a varias familias de escenarios que en total suman 40 posibilidades³⁴. Para estos escenarios se han propuesto cuatro parámetros fundamentales: el desarrollo de la economía (A) y la situación del medio ambiente (B); las orientaciones globales (1) y regionales (2) de las estrategias³⁵.

- a) Escenario A1: se trata de un mundo con un crecimiento acelerado de la economía, que a su vez introduce de forma rápida y eficiente las nuevas tecnologías. Al mismo tiempo, la población mundial alcanza el valor máximo hacia mediados de siglo y luego comienza a disminuir. Es más global, lo que significa que existe una convergencia entre regiones, aumento de interacciones sociales y culturales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a nivel de ingresos *per capita*.
- b) Escenario A2: se trata de un mundo muy heterogéneo. Se es autosuficiente y se cuidan los valores e identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de regiones convergen muy lentamente, con lo que la población mundial aumenta continuamente. El desarrollo económico se orienta regionalmente por lo que el crecimiento económico y tecnológico está mucho más fragmentado.
- c) Escenario B1: se trata de un mundo menos consumista que tiene en cuenta las tecnologías “limpias”. Demográficamente se trata de igual manera que en el modelo A1, es decir, crece hasta un máximo y luego disminuye. Lo que cambia es la estructura económica que se orienta a una economía de comunicación y servicios, acompañados de una utilización menos intensiva de materiales con aprovechamiento eficaz de los recursos. Se da preponderancia a las soluciones de orden mundial que procuran el

desarrollo sostenible económico, social y medioambiental. También hay mayor igualdad.

- d) Escenario B2: se trata de un mundo con énfasis en soluciones locales con relación a la sostenibilidad social, económica y medioambiental. La demografía aumenta lentamente a menor velocidad que en el escenario A2, con desarrollos económicos intermedios, y con cambios tecnológicos menos acelerados y diversos que en los escenarios A1 y B1. Este escenario también se centra en la protección medioambiental y en la igualdad social pero con impactos locales y regionales.

Además, el escenario A1 se subdivide en tres tipos más teniendo en cuenta el consumo de combustibles fósiles:

a.1) Escenario A1-B: es un escenario donde se equilibra el uso de combustibles fósiles con no fósiles.

a.2) Escenario A1-FI: es un escenario con uso intensivo de combustibles fósiles. a.3) Escenario A1-T: es un escenario que refleja la transición hacia el uso exclusivo de combustibles no-fósiles.

De esta manera, los escenarios son: A1B, A1T, A1FI, A2, B1 y B2. El antiguo escenario IS92a se ha dejado como referencia y sigue siendo importante porque la mayoría de las predicciones hechas se han basado en él; su escenario describe qué ocurriría si no cambiamos nuestra actitud hacia la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El gráfico 3 muestra los escenarios presentados en el informe de 2001.

En el nuevo informe del IPCC de 2007, se ha presentado un nuevo informe científico actualizando el TAR (Third Assessment

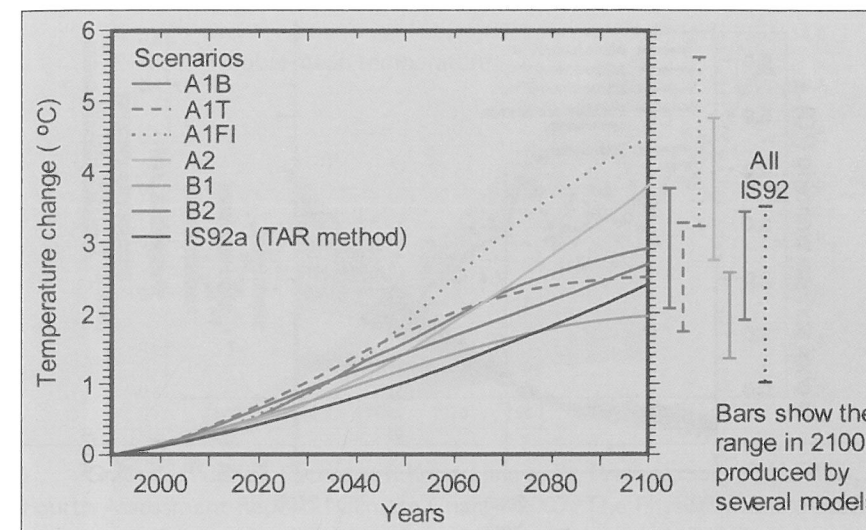


Gráfico 3. Fuente: Ulrich Cubasch CLA, WGI, M&D, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany, 2001, conforme a los informes del IPCC.

Report) del año 2000. En él se han mejorado las técnicas de análisis, se han actualizado los datos y pulido los escenarios mencionados. Una de las diferencias importantes con respecto al anterior informe muestra que la tendencia estimada para el aumento de la temperatura entre 1901 y 2000 ha sido mayor de lo previsto. El informe TAR indicaba una tendencia de $0,6^{\circ}\text{C}$ ($0,4^{\circ}$ a $0,8^{\circ}\text{C}$), y se ha verificado que la temperatura comprendida entre 1906 y 2005 ha alcanzado $0,74^{\circ}\text{C}$ ($0,56^{\circ}$ a $0,92^{\circ}\text{C}$). Los seis años más calurosos en los últimos cien años han sido 1998, 2005, 2003, 2002, 2004 y 2006.

En el gráfico 4 vemos actualizado por el IPCC en su último informe de febrero de 2007. Las líneas continuas son los promedios globales del multi-modelo de las temperaturas de la superficie terrestre para los escenarios A2, A1B y B1 que se bifurcan a partir del año 2000. Las sombras que aparecen junto a las líneas continuas indican la mayor y menor desviación estándar de esos escenarios. Las líneas grises de la derecha son las estimaciones de referencia que se

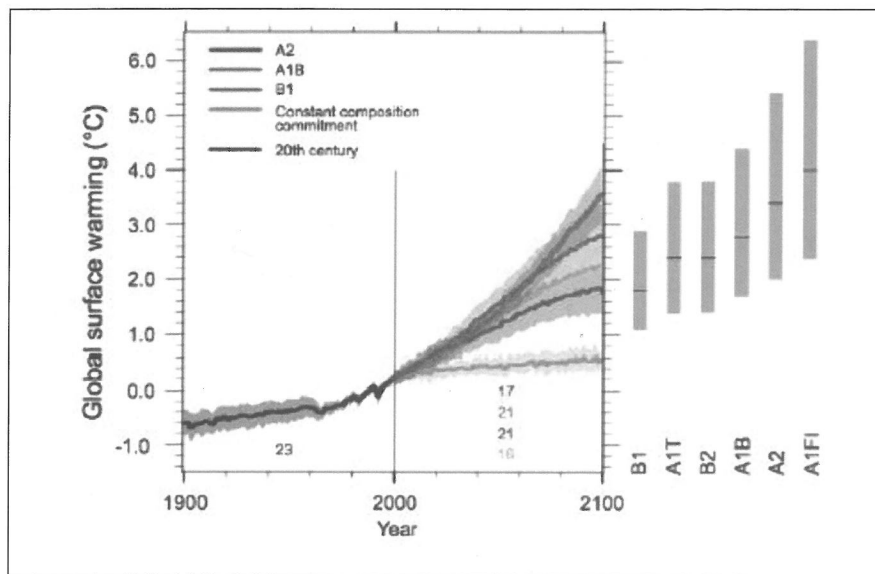


Gráfico 4: Fuente: IPCC, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Summary for Policymakers, WGI, Fourth Assessment Report, Paris, February 2007, Fig.SPM7.

han propuesto para los seis escenarios. Si comparamos ambos gráficos podemos ver que las tendencias siguen siendo similares. La mejor estimación para el escenario más bajo (B1) es 1,8°C de subida de temperatura, con un rango (probable) de 1,1°C a 2,9°C; y el escenario más alto (A1FI) de 4,0°C, con un rango (probable) de 2,4°C a 6,4°C.

En el gráfico 5, el IPCC muestra el incremento de las temperaturas actualizadas para su informe de 2007. La conclusión a la que se llega es que en las últimas décadas el incremento ha sido mayor y más rápido

De esta manera, el mapa mundial de estimaciones con respecto al calentamiento del planeta que ha estimado el IPCC para los tres escenarios menos extremos se detalla en el gráfico 6.

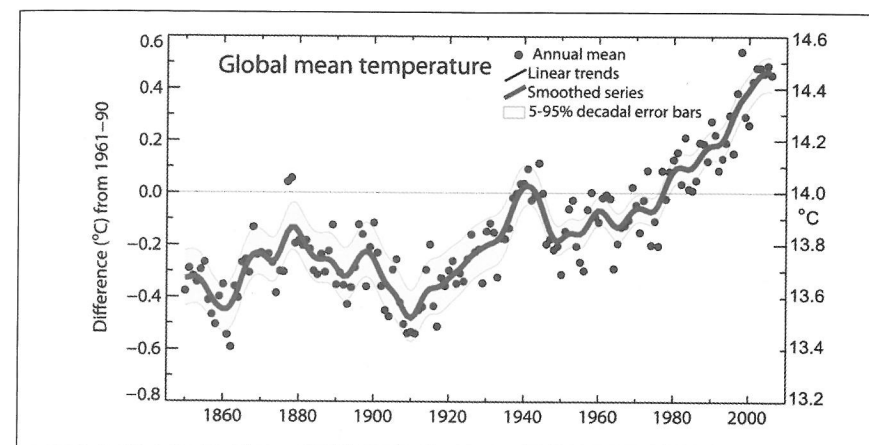


Gráfico 5: Fuente: Pachauri, R.K. and Jalow, B., Presentation of the WGI, Fourth Assessment Report, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Summary for Policymakers, Nairobi, February 6, 2007.

Es conveniente señalar que una de las críticas que ha recibido el IPCC en sus informes de 1992 y 2001 ha sido la de no haber considerado suficientemente en sus modelos los elementos que producirían un efecto refrigerador. Como sería el caso de algunos aerosoles y partículas en suspensión, sobre todo con el azufre procedente de la quema de combustibles fósiles o de otras partículas procedentes de emisiones volcánicas, o quema de biomasa. Estas partículas reflejarían la energía solar y disminuirían el efecto invernadero. Las partículas en general poseen un alto poder refrigerante pero el nivel de conocimiento científico sobre los efectos reales es muy bajo. De hecho, uno de los grandes desafíos que tienen los modeladores consiste en reducir la incertidumbre con respecto a la influencia real de estos factores. Algunos autores han advertido que el efecto del calentamiento provocado por el carbón negro se compensa con el efecto refrigerante de otros componentes de los aerosoles³⁶. Pero también aluden a los efectos nocivos de los aerosoles y los gases hidrofluorocarbonos (HFC's) y perfluorocarbonos (PHC's).

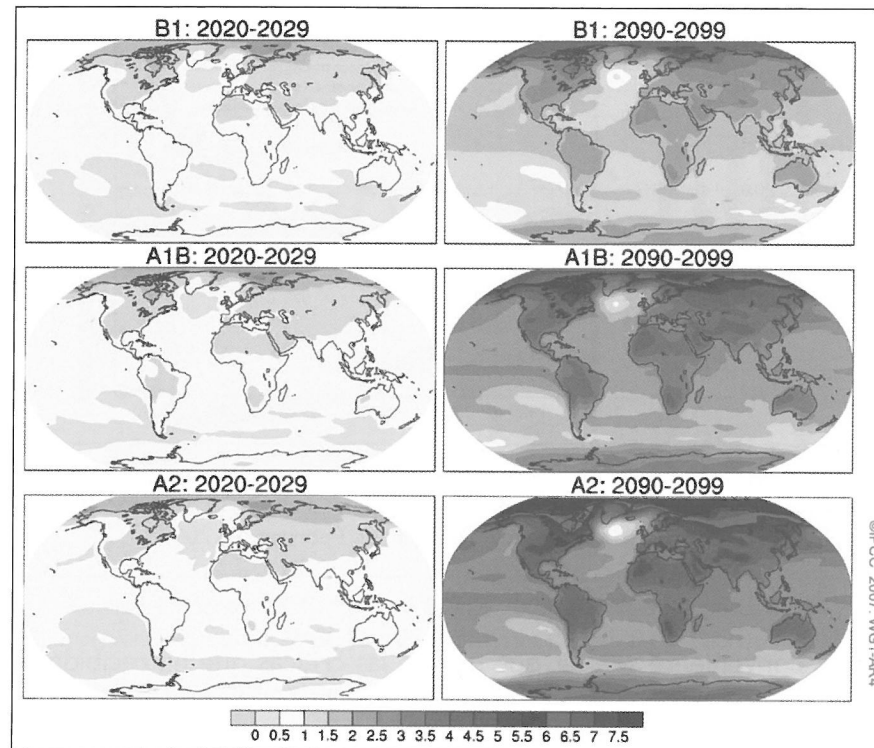


Gráfico 6: Mapa mundial de estimaciones con respecto al calentamiento del planeta (IPCC, 2007)

Por otro lado, en 2001 Lomborg había criticado el hecho de que tampoco se había tenido en cuenta de manera adecuada los efectos de refrigeración que producía el vapor de agua en la troposfera. Se considera que un aumento del CO_2 conlleva el calentamiento de la superficie terrestre que a su vez evapora más agua; al mismo tiempo, dicha agua evaporada atrapa a su vez mayor calor; lo que incrementaría más aún las temperaturas. El IPCC ha calculado en su informe de 2001 que si se duplicaba la concentración de CO_2 (para el año 2070) la temperatura subiría entre 1 y $1,2^\circ\text{C}$, pero al considerar la amplificación por el vapor de agua, dicha temperatura esta-

ría realmente entre $1,5$ y $4,5^\circ\text{C}$. Sin embargo, algunos datos registrados por satélites de NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) han detectado un incremento en la troposfera mucho menor del esperado. Si el incremento de la temperatura es mínimo en la troposfera, la retroalimentación por agua influiría en el calentamiento y sería mucho menor del estimado por los modelos del IPCC. Gracias a las mediciones de los globos meteorológicos se pudo verificar que hay diferencias entre el calentamiento que se ha ido produciendo en la troposfera y en la superficie terrestre. El aumento de temperatura de la superficie terrestre es mucho mayor. Esta diferencia tendría que ser considerada en los modelos elaborados por el IPCC³⁶, ya que cambiaría la estimación del aumento de temperatura de manera importante. El calentamiento detectado por los satélites ($0,034^\circ\text{C}/\text{década}$) y por los globos ($0,029^\circ\text{C}/\text{década}$) en la troposfera difiere al ser comparado con el de la superficie ($0,17^\circ\text{C}/\text{década}$) y con las predicciones de los modelos AOGCM ($0,22^\circ\text{C}/\text{década}$)³⁷.

Finalmente, otra de las grandes incertidumbres de los estudios por modelo son las nubes y su interacción con las radiaciones. Según sea la altura, el tamaño y grosor, la distribución de las gotas de agua, las partículas de hielo y los aerosoles atmosféricos pueden calentar o enfriar el clima. Esta dificultad también lo ha reconocido el IPCC³⁸. Estos datos muestran que todavía hay incertidumbres con respecto a variables que no son triviales a la hora de arrojar resultados en los modelos y en los escenarios. Por este motivo, Lomborg ha señalado en 2001: “La conclusión más evidente a la que podemos llegar es que los modelos actuales son complicados, pero además están muy lejos de lograr capturar todos los aspectos esenciales del clima global. Esta incertidumbre sobre la sensibilidad climática hace que los creadores de los modelos sean más ruidosos que la propia respuesta al clima. Por lo tanto, la mayoría de los modeladores siguen creyendo que falta más de una década para lograr que los modelos sean realmente efectivos. Además, los

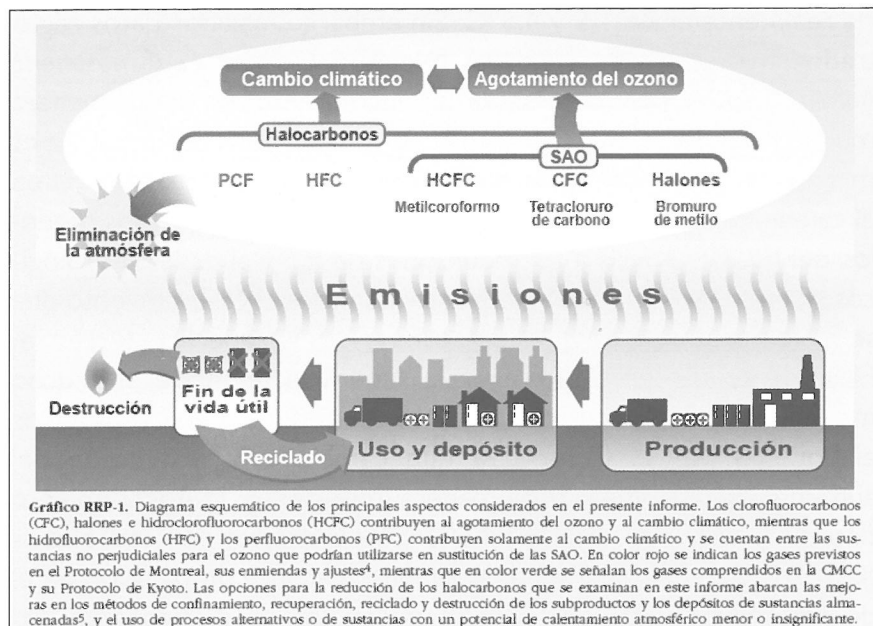


Gráfico RRP-1. Diagrama esquemático de los principales aspectos considerados en el presente informe. Los clorofluorocarbonos (CFC), halones e hidroclofluorocarbonos (HCFC) contribuyen al agotamiento del ozono y al cambio climático, mientras que los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) contribuyen solamente al cambio climático y se cuentan entre las sustancias no perjudiciales para el ozono que podrían utilizarse en sustitución de las SAO. En color rojo se indican los gases previstos en el Protocolo de Montreal, sus enmiendas y ajustes³, mientras que en color verde se señalan los gases comprendidos en la CMCC y su Protocolo de Kyoto. Las opciones para la reducción de los halocarbonos que se examinan en este informe abarcan las mejoras en los métodos de confinamiento, recuperación, reciclado y destrucción de los subproductos y los depósitos de sustancias almacenadas⁵, y el uso de procesos alternativos o de sustancias con un potencial de calentamiento atmosférico menor o insignificante.

Gráfico 7: Diagrama esquemático de los principales aspecto del informe IPCC

modelos más simples utilizados por el IPCC parecen exagerar claramente la sensibilidad climática³⁹.

Desde su último informe de 2001, el IPCC ha revisado sus datos y completado sus investigaciones. Al parecer también ha asumido ciertas críticas. Aunque los datos generales han variado poco, ha habido modificaciones en cuanto a varios aspectos que hemos comentado. Por ejemplo, en el 2005, se presentó un informe acerca de la protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial. En él se analizan las influencias de los Hidrofluorocarbonos y de los Perfluorocarbonos para ver si se las consideran sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Reproducimos uno de los gráficos de dicho informe para sintetizar sus principales conclusiones.

Con relación al forzamiento radiativo del vapor de agua y partículas en suspensión, Lomborg al hacer su crítica utilizaba como

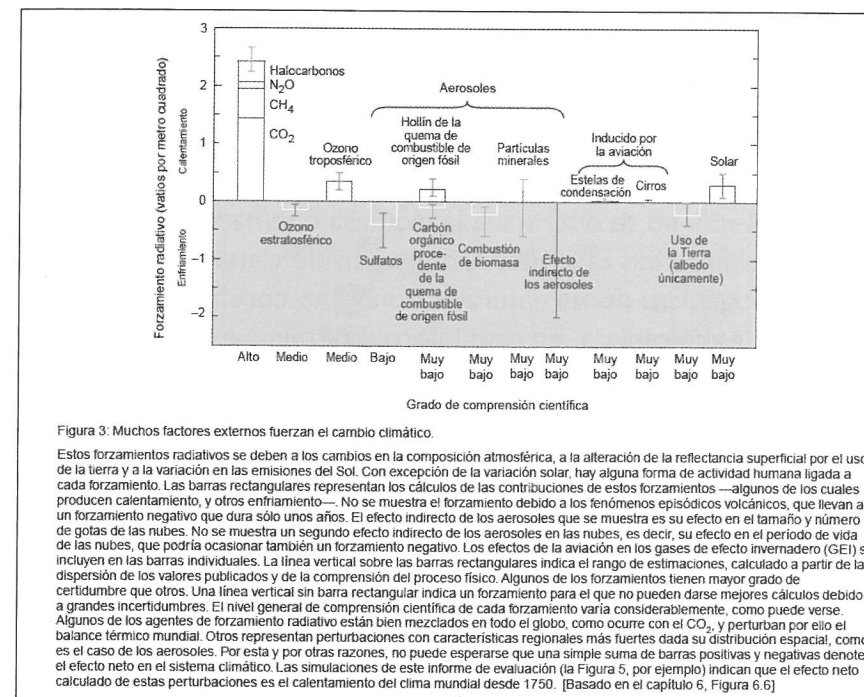


Figura 3: Muchos factores externos fuerzan el cambio climático.

Estos forzamientos radiativos se deben a los cambios en la composición atmosférica, a la alteración de la reflectancia superficial por el uso de la tierra y a la variación en las emisiones del Sol. Con excepción de la variación solar, hay alguna forma de actividad humana ligada a cada forzamiento. Las barras rectangulares representan los cálculos de las contribuciones de estos forzamientos —algunos de los cuales producen calentamiento, y otros enfriamiento—. No se muestra el forzamiento debido a los fenómenos episódicos volcánicos, que llevan a un forzamiento negativo que dura sólo unos años. El efecto indirecto de los aerosoles que se muestra es su efecto en el tamaño y número de gotas de las nubes. No se muestra un segundo efecto indirecto de los aerosoles en las nubes, es decir, su efecto en el período de vida de las nubes, que podría ocasionar también un forzamiento negativo. Los efectos de la aviación en los gases de efecto invernadero (GEI) se incluyen en las barras individuales. La línea vertical sobre las barras rectangulares indica el rango de estimaciones, calculado a partir de la dispersión de los valores publicados y de la comprensión del proceso físico. Algunos de los forzamientos tienen mayor grado de certidumbre que otros. Una línea vertical sin barra rectangular indica un forzamiento para el que no pueden darse mejores cálculos debido a grandes incertidumbres. El nivel general de comprensión científica de cada forzamiento varía considerablemente, como puede verse. Algunos de los agentes de forzamiento radiativo están bien mezclados en todo el globo, como ocurre con el CO₂, y perturban por ello el balance térmico mundial. Otros representan perturbaciones con características regionales más fuertes dada su distribución espacial, como es el caso de los aerosoles. Por esta y por otras razones, no puede esperarse que una simple suma de barras positivas y negativas denote el efecto neto en el sistema climático. Las simulaciones de este informe de evaluación (la Figura 5, por ejemplo) indican que el efecto neto calculado de estas perturbaciones es el calentamiento del clima mundial desde 1750. [Basado en el capítulo 6, Figura 6.6]

Gráfico 8: Forzamiento radiativo medio anual del sistema climático del año 2000 con respecto a 1750

fuerza el informe de 2001 y, entre otros, el gráfico de abajo⁴¹. Para comprender un poco mejor la referencia de medida que se utiliza para la energía que llega a la tierra podemos decir que “un W/m² extra significa un aumento de la temperatura cercano a 0,5-1°C. El efecto total combinado de los gases invernadero (CO₂, CH₄, N₂O y halocarburos) es de aproximadamente 2,43, con una incertidumbre del 10%”. El porcentaje de incertidumbre del gráfico de 2001 muestra que desde los combustibles fósiles hasta la radiación solar es alta y el conocimiento científico (LOSU) es muy bajo (VL, very low). El efecto de los polvos minerales indican una variación entre +0,4 y -0,6 W/m². No hay datos con relación a los Halofluorocarbonos ni a los Perfluorocarbonos.

Ahora bien, en el último informe de febrero de 2007, el IPCC ha modificado la forma de presentación de este gráfico y puntualiza mejor las variables que intervienen en el forzamiento radiativo, como se puede ver a continuación, incluyen algunas cifras referentes al vapor de agua; se han unificado las variables relacionadas con los aerosoles; y no se discrimina la biomasa quemada ni los sulfatos como en el anterior. El gráfico también divide claramente las fuentes antropogénicas de las naturales donde no constan los datos de las emisiones volcánicas. En este informe disminuye un poco más la incertidumbre y aumenta el conocimiento científico que ahora pasa de muy baja (VL) a ser baja (L).

2. Efectos del calentamiento global del planeta

Es indudable que el deterioro de nuestra biosfera en cualquiera de sus zonas: agua, suelo o atmósfera, repercute en nuestro modo de vida. No solamente de los seres humanos, sino de todos los seres vivos en general. Existe un gran problema al analizar los efectos del calentamiento global del planeta que consiste en el desconocimiento científico que hay al respecto. Si se altera el clima se pueden observar consecuencias directas, como la variación insólita de las temperaturas, el comportamiento extraño de los animales, las precipitaciones, etc.; pero también hay complejas repercusiones indirectas, como la adaptación de las especies en los ecosistemas, las repercusiones sociales y económicas humanas o las alteraciones físicas de algunas zonas geográficas. Sin embargo, afirmar con datos científicos que algunos de esos efectos se producen directamente por la variación climática y más en concreto por la acción directa del ser humano, es más arriesgado.

Gracias a la tecnología actual y a que contamos con sistemas avanzados de investigación se pueden realizar comparativas y se pueden estimar algunos efectos indeseables en el caso de que se altere la temperatura climática de nuestro planeta. Hay un amplio

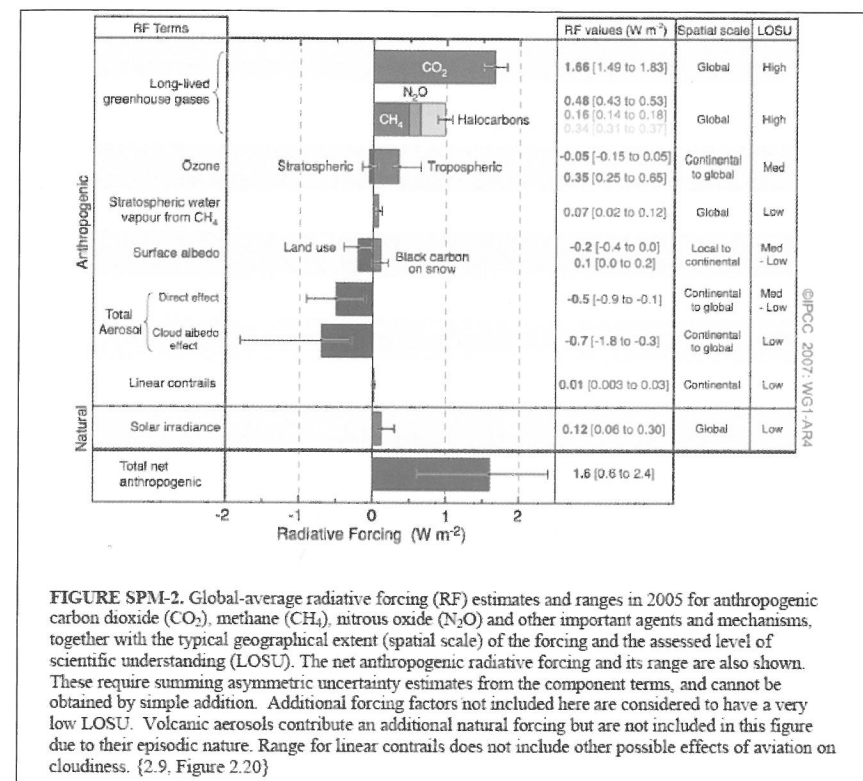


Gráfico 9: Componentes del forzamiento radioactivo

acuerdo entre los científicos de que se han ido detectando numerosas señales de deterioro ambiental en todo el mundo, por tanto, resulta lógico pensar en una causa global que afecta a todo el planeta. Como vimos anteriormente, esa o esas causas pueden ser de índole natural y todavía se están investigando. Pero también hay científicos que advierten de que una causa importante es la intervención humana, como lo hace el IPCC. Nuestra forma de vida consumista, el uso indebido de los recursos naturales, el descuido de las materias primas, el descuido al adecuar el territorio conforme aumenta el número de la población, o las explotaciones inmobiliarias con fines lucrativos, las grandes concentraciones humanas

en reducidas zonas geográficas que perjudican el hábitat, el consumo indiscriminado de recursos no renovables, la tala masiva que ignora la reforestación de bosques tropicales o de zonas templadas, la construcción cada vez mayor de vías de comunicación, las guerras, revoluciones o conflictos sociales en numerosos lugares de todos los continentes, el desequilibrio socioeconómico que exhibe la pobreza extrema en muchos sitios del planeta y opulencia en otros: todo esto afecta a la naturaleza que nos rodea porque forma parte de nuestro medio. La acción humana no puede ser neutral con las señales de deterioro que se están observando.

¿Culpar todo esto al calentamiento global? Sería un error, pero establecer correlaciones y darse cuenta de que existen algunos factores antropogénicos que contribuyen al deterioro ambiental, eso sí se puede afirmar categóricamente. Si deseamos ser justos también debemos decir que la acción humana también ha sido positiva recuperando ecosistemas deteriorados, realizando reforestaciones, cuidando la biodiversidad, mejorando las buenas prácticas ambientales, limpiando zonas contaminadas, controlando la investigación nuclear y dando cada vez mayor importancia al cuidado del medio ambiente. Como dice Lomborg, estamos mejor que antes en muchos aspectos, pero todavía debemos mejorar.

¿Qué pasaría si en nuestro planeta siguiera aumentando la temperatura?, ¿cómo incidiría en las formas de vida o en la configuración geofísica de la Tierra?, ¿se están observando algunos cambios? A continuación presentaré algunas señales de deterioro ambiental que tiene relación directa o indirecta con el calentamiento global y sus posibles repercusiones. No me gusta caer en el extremo de hablar del fin del mundo —hoy día se oye a muchos predecir una inminente apocalipsis—, pero tampoco sería descabellado pensar que dada nuestra situación actual de avance tecnológico, crecimiento demográfico y de consumo de recursos tengamos el poder de acelerar o retardar el agotamiento de los recursos naturales de nuestro planeta, o de provocar alteraciones en el equilibrio de los

ecosistemas que tendrán como respuesta catástrofes de índole natural. Me inclino a pensar que el mayor peligro de la acción humana sobre la naturaleza se produce por los efectos colaterales no buscados adrede.

¿Cuáles son algunos signos de deterioro y sus posibles repercusiones a lo largo del planeta que pueden tener relación con el calentamiento global del planeta?⁴²

1. Deterioro de glaciares y derretimiento del hielo polar: se ha verificado la disminución de varios glaciares como el Columbia (Alaska), Qori Kalis (Perú), Upsala (Argentina), Tschierva (Suiza), Rhone (Suiza), Adamello (Italia), o los glaciares del Himalaya. Con respecto a la Antártida, el caso más estudiado es el colapso de la plataforma Larsen. Esta plataforma de 3.250 km² que se había formado hace más de 12.000 años se fragmentó en miles de icebergs en el año 2002. También los datos de descongelación del permafrost han llamado la atención de los especialistas. Si sigue la tendencia de este tipo de derretimientos, una de las posibles consecuencias sería el aumento del nivel del mar, también habría una alteración de la flora y fauna de la tundra.
2. Aumento de la intensidad de tormentas, huracanes o tifones: los últimos estudios de la NOAA indican que sigue el debate en torno a este tema; sobre todo después de la catástrofe del Huracán Katrina. Aunque antiguamente no se vinculaba el número de huracanes con el calentamiento global, actualmente se están iniciando esos estudios dada la magnitud y efectos catastróficos registrados en los últimos años en Indonesia tras el tsunami, el huracán Katrina en los Estados Unidos, o las grandes tormentas de Europa, India o China. Lomborg, después de analizar la falta de pruebas teóricas con relación al aumento de tormentas, señala que: “es probable

que el calentamiento provoque un aumento en las precipitaciones. Ya se está produciendo un incremento de lluvias en la mayor parte de las zonas investigadas, por ejemplo en Estados Unidos, Rusia occidental, sur de Canadá, la costa oriental de Australia y Sudáfrica, mientras que en Japón, nor-este de China, Etiopía, oeste de Kenia y Tailandia se han recogido menos precipitaciones”, al mismo tiempo dice que “no es cierto que el calentamiento global nos haya hecho o nos vaya a hacer experimentar mayores huracanes y tormentas, y de forma similar, la queja sobre un fenómeno como *El Niño* mucho mayor y sin precedentes resulta muy débil y teóricamente insostenible”⁴⁶.

3. Aumento de la sequía y la hambruna: los signos de desaparición del lago Chad en África y la reducción del 60% del mar Aral en Asia Central, el cuarto mayor lago del mundo, así como la disminución de zonas forestales y extensión de zonas desérticas han llamado la atención desde el último cuarto de siglo. Por otro lado, hay estudios de la USGS (*United States Geological Survey*) sobre 395 flujos fluviales que indican menos sequías pero más inundaciones. Es preciso decir que el aumento de la temperatura implicaría mayores niveles de evaporación y riesgo de sequías. Con relación al hambre, la mayoría de los especialistas atribuyen este problema a la mala gestión en la distribución de los alimentos, a los problemas económicos, políticos o culturales más que a problemas relacionados con el calentamiento global. Sin embargo, es cierto que la variación de temperaturas que provocan sequías o inundaciones afectan a la agricultura en sus distintas épocas (siembras o cosechas) deteriorando la economía.
4. Disminución de la superficie forestal: el aumento de zonas urbanizadas, de la agricultura, la emigración masiva del campo a la ciudad, el comercio de la madera que permite generar riqueza directa a países en desarrollo, los incendios acciden-

tales y provocados y la falta de legislación adecuada para el cuidado de los bosques ha hecho que la superficie forestal disminuya de manera acelerada. Aunque todavía no se puede hablar de situación crítica, es una de las grandes preocupaciones de los países, sobre todo en la zona tropical. La disminución de la superficie forestal repercute no solamente en el clima, en la frecuencia de lluvias o la riqueza del suelo, sino que también afecta a la biodiversidad, ya que en su seno se encuentra una inmensa riqueza de fauna y flora. Aquí nuevamente tenemos un problema actual que tiene gran impacto por parte de la actividad humana directa más que por razones climáticas.

5. Inundaciones de ciudades costeras: el nivel de los mares ha aumentado entre 10 y 25 cm en los últimos cien años, de los cuales la tres cuartas partes se debe al hecho de que el agua se ha calentado y el mar se ha expandido y una cuarta parte al derretimiento de los glaciares y al deshielo de los casquetes polares. “Actualmente, la erosión de las costas pantanosas de Asia no proviene de la subida del nivel del mar; se debe en gran parte a los sedimentos en suspensión que transportan los ríos anualmente hacia el océano, provenientes de las actividades humanas y la evolución de los deltas”⁴⁸. El informe del IPCC en 1997 decía que “las costas de muchos países están ya hoy seriamente afectadas por un aumento del nivel del mar causado por hundimientos de origen tectónico y antropógeno. Unos 46 millones de personas al año están expuestos a inundaciones en la eventualidad de una marea de tempestad. El cambio climático acentuará estos problemas, posiblemente repercutiendo en los ecosistemas y en la infraestructura costera humana. Un gran número de personas podría resultar también afectado por un aumento del nivel del mar: así, por ejemplo, en ausencia de medidas de adaptación, un aumento de 1 m en el nivel del mar (la estimación más alta del

Grupo de Trabajo I del IPCC para 2100) obligaría en Bangladesh a desplazarse a decenas de millones de personas. Dado que cada vez es mayor el número de megalópolis situadas en áreas costeras, este cambio podría afectar a una gran cantidad de infraestructura. Aunque para muchos países los costes anuales de protección son relativamente modestos (en torno a un 0.1% del PIB), el coste medio anual representaría para muchos pequeños países insulares varios puntos porcentuales de su PIB. Para algunos de ellos, el elevado coste de la protección frente a las mareas de tempestad haría ésta prácticamente inviable, especialmente si se tiene en cuenta la limitada disponibilidad de capital para inversiones⁴⁹.

En el último informe del Grupo de Trabajo II, presenta datos más consistentes y al mismo tiempo sus comentarios son comedidos. Con respecto a los sistemas costeros y zonas bajas dice: “Se prevé que las costas estén expuestas a crecientes riesgos, incluida la erosión costera, a causa del cambio climático y la subida del nivel del mar. El aumento de las presiones provocadas por el ser humano en zonas costeras exacerbará este efecto.⁵⁰ D [6.3, 6.4]. Los corales son vulnerables al estrés térmico y presentan baja capacidad de adaptación. Se prevé que el aumento de la temperatura de la superficie marina de 1 a 3°C aumente la frecuencia de decoloración de corales y la extensión de su mortalidad, a no ser que haya adaptación térmica o aclimatación. *** D [R6.1, 6.4]. Se prevé que la subida del nivel del mar afecte negativamente a los humedales costeros, incluidos marismas de agua salada y manglares, principalmente donde existe contención del lado que da a la tierra o privación de sedimentos. *** D [6.4]. Se prevé que muchos millones de personas se vean afectadas por inundaciones cada año, a raíz del aumento del nivel del mar para la década de 2080. Se encuentran en riesgo principalmente las regiones densamente pobladas y zonas bajas donde la capacidad de adaptación es relativamente baja, y que ya

afrontan otros desafíos tales como tormentas tropicales o hundimiento de las costas locales. El número de damnificados será mayor en los mega-deltas de Asia y África, mientras que serán especialmente vulnerables los pequeños territorios insulares. *** D [6.4]. La adaptación de las costas será un reto mayor para los países en desarrollo que para los países desarrollados debido a las limitaciones de la capacidad de adaptación.⁵¹ ** D [6.4, 6.5, T6.11]”

El calentamiento global del planeta traerá grandes repercusiones, pero no se pueden establecer con precisión qué tipo de sucesos. Más o menos se estiman algunos efectos bajo escenarios supuestos, pero la verdad es que todavía no se tiene el conocimiento suficiente para afirmar de una manera clara lo que sucederá. Las mediciones y análisis comparativos son muy recientes considerando la complejidad de la evolución climática del planeta a lo largo de los siglos. Por otro lado, también es cierto que el sistema ambiental es complejo y altamente impredecible. En el congreso de climatología celebrado en Boulder (USA) en el año 1965 acerca de las “Causas del Cambio Climático”, fue invitado Edward N. Lorenz, matemático del MIT. En dicha oportunidad pudo presentar los resultados de sus investigaciones en torno a la meteorología y las matemáticas y los modelos informáticos de aquella época. Su tesis principal fue decir que las modificaciones más leves en las condiciones iniciales podían provocar un enorme cambio aleatorio en el clima posterior⁵². Explicó que no se puede despreciar una causa en un sistema complejo ya que sus efectos pueden ser impredecibles. El físico Spencer Weart recoge ese momento histórico en su libro sobre el calentamiento global diciendo que: “Los cambios orbitales, las trayectorias del viento, la fusión de las placas de hielo, la circulación oceánica...: todo parecía interactuar con cualquier otro factor. Durante la década de 1960 se reconoció cada vez más, no sólo entre los estudiosos del clima sino también en otros campos de la ciencia, así como en la manera de pensar de la población en general, que el medio ambiente planetario era una estructura enormemente complicada. Casi todas las características

del aire, el agua, el suelo o la biología podían ser sensibles a cambios ocurridos en cualquier otra”⁵³.

En definitiva, los efectos futuros del calentamiento global plantean un dilema: por un lado sería una irresponsabilidad predecir acontecimientos catastróficos al no disponer de mejores conocimientos y estudios acerca de este fenómeno que se ha comenzado a analizar desde hace relativamente poco tiempo (a más tardar un siglo) teniendo en cuenta el ritmo histórico de los cambios climáticos. Y por otro lado también sería una irresponsabilidad no hacer nada al detectar signos evidentes de deterioro ambiental provocados por causas naturales y también por la acción directa e indirecta del ser humano, esperando a que no se tomen medidas que disminuyan o desaceleren procesos de destrucción del medio ambiente; o mayor responsabilidad aún decir que no pasa nada y que todo esto no es más que otra conspiración de los de siempre. ¿Queda otro camino?

3. Análisis de alternativas de solución

Con lo expuesto hasta aquí tenemos un panorama general acerca del estado actual de la cuestión sobre el cambio climático. Como se puede ver es un tema altamente complejo desde todo punto de vista, tanto científico como económico, social o de político. Existe una amenaza que se basa en algunas señales objetivas detectadas por el sentido común y por el análisis científico. La población mundial crece, los actuales modelos socioeconómicos tienden a homogeneizarse en un panorama de globalización que tiene sus pros y sus contras. Indudablemente la acción humana repercute en el medio ambiente ya sea de manera favorable o desfavorable. Hay muchos datos que nos hacen suponer que el hombre necesita mejorar su modo de habitar el mundo para mejorar las condiciones de la vida humana, que ocupa el primer lugar por orden de responsabilidad con sus congéneres; pero también necesita cuidar a los demás seres de la naturaleza y el entorno natural en sí.

La manera de enfrentarse al deterioro ambiental de nuestros días, entre los que se encuentra el calentamiento global, tiene muchas vías intermedias de solución. En el apartado anterior el dilema de “actuamos” o “no actuamos” es un tópico. Tenemos la posibilidad de actuar de distintas maneras, pero siempre actuando con criterios éticos de legítima preocupación por las demás personas y los demás seres que viven en este planeta. Este punto de vista se denomina “visión solidaria” y es la única perspectiva que puede ayudar a resolver un problema de dimensiones globales.

El principio de responsabilidad nos orienta con relación a nuestros deberes con el medio ambiente, en el que se incluye no solamente a los seres humanos sino a todo nuestro hábitat y sus habitantes. El alcance de nuestra responsabilidad depende del ámbito de actuación personal y social que tenemos. En el aspecto personal, según el trabajo que hagamos o los servicios que podamos prestar podemos llevar a cabo muchas buenas prácticas ambientales. Aquí hablamos desde cuidar la utilización de la energía, ahorrar combustibles y reciclar la basura, hasta ocuparnos de cuidar los sitios de excursión y ocio, el buen trato hacia los animales y el consumo adecuado de recursos naturales. Lógicamente, al hablar del calentamiento global, tal vez lo más directo sea cuidar el consumo de combustibles fósiles en la medida de lo posible, y apoyar mediante el voto a las gestiones políticas ambientales.

Sin embargo, según sea la función pública que uno desempeñe puede tener mayor o menor responsabilidad en la aplicación de medidas y buenas prácticas con relación al cuidado del medio ambiente en general, y del calentamiento global en particular. Aquí el campo es amplio y va desde la parte técnico-científica que investiga las causas y posibles soluciones al consumo y emisión de gases de efecto invernadero, así como de posibles causas naturales; hasta la parte económica, jurídica o de relaciones internacionales.

Para concretar aún más las medidas de solución que se han estado barajando con relación al calentamiento global, comentaremos el que más apoyo internacional está teniendo. Se trata del Protocolo de Kioto.

La preocupación por el cambio climático fue un punto importante en la agenda de la Cumbre de Río de Janeiro. En dicha oportunidad se estimó conveniente dar mayor apoyo a la Organización Mundial Meteorológica y al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y establecer un protocolo similar al de Montreal que ya antes había logrado controlar el problema de la disminución del ozono atmosférico.

Desde finales de los 80 se asume la idea de que la emisión indiscriminada de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero contribuyen al proceso de calentamiento global del planeta. Por tanto, el objetivo se centra en reducir las emisiones de estos gases. Eso significa una reducción o modificación de los procesos industriales, del consumo de productos derivados del petróleo y del fomento de energías renovables. En definitiva, los países desarrollados que son los que emiten más gases de efecto invernadero se verían obligados a transformar sus industrias y sus fuentes de emisión para reducir estos gases. Estos países tendrían que someterse a un control de emisiones con unas cuotas fijadas en foros internacionales para cuidar la atmósfera. Lógicamente, esto afectaría al rendimiento de muchas empresas e incluso a pérdidas millonarias, o si se prefiere, a posibles ganancias millonarias.

En 1990 aparecen los primeros informes del IPCC que recomiendan una reducción entre el 60% y el 80% de las emisiones para estabilizar las concentraciones de CO₂. A partir de ese momento, el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) inicia las gestiones políticas con el objetivo de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. En la Cumbre de Río se establece un plan internacional de reducción de emisiones de

gases de efecto invernadero y se solicita la adhesión de los diferentes países. En el año 1995 se lleva a cabo la Cumbre de Berlín, donde se solicitan medidas más firmes de reducción de emisiones para los países desarrollados. Tras más de dos años de negociaciones, el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto (Japón) se firma un acuerdo que regula algunas medidas que no sólo se refieren a los mecanismos de control de emisiones de gases de efecto invernadero, sino además al desarrollo de energías nuevas y renovables. El texto del Protocolo se abrió a la firma entre el 16 de marzo de 1998 y el 15 de marzo de 1999 en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York. El número de firmas a esa fecha incluía a 84 países, dejando la oportunidad de que los demás países pudieran adherirse a él en cualquier momento.

Sin embargo, algunos países con alto grado de emisión de gases de efecto invernadero no lo habían ratificado, como por ejemplo Estados Unidos o Rusia, y una de las condiciones establecía que sólo podría entrar en vigor con la firma de al menos 55 países que representen al menos el 55% de emisiones. Esta condición se cumplió con la ratificación de Rusia, de esta forma el Protocolo de Kioto entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Hasta octubre de 2007 han ratificado, aceptado, aprobado o adherido 177 países, lo que representa un 63,7% de las emisiones mundiales. Solamente dos países inicialmente firmantes no lo han hecho: Estados Unidos y Kazajistán, de los cuales Estados Unidos tiene en torno al 30% de las emisiones mundiales.

Las medidas que sugiere el Protocolo de Kioto son las siguientes:

- “i) fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;
- ii) protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio

- ambiente; promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación;
- iii) promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático;
 - iv) investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;
 - v) reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la Convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado;
 - vi) fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal;
 - vii) medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en el sector del transporte;
 - viii) limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos así como en la producción, el transporte y la distribución de energía⁵⁷

Vuelvo a señalar que el Protocolo no se limita exclusivamente a la reducción del CO₂, aunque es lo que más se oye en los medios de comunicación. Hay otras medidas que sugieren una nueva forma

de comportamiento económico y social con relación al medio ambiente. El Protocolo de Kioto es un documento jurídicamente vinculante donde se establece, entre otras cosas, una reducción del 5,2% para el año 2010 de las emisiones registradas en 1990. Además, da la posibilidad del comercio de emisiones entre los países desarrollados.

La actual administración de los Estados Unidos se negó a ratificar el Protocolo de Kioto por dos motivos principales, el primero debido a que perjudicaría la economía de su país y en segundo lugar porque no veía justo que a algunos países en desarrollo como China o India no se les exigía una reducción de las emisiones. Sin embargo, más de 200 ciudades de 40 estados de los Estados Unidos se han adherido al Protocolo de Kioto por su propia cuenta y están aplicando medidas para reducir la contaminación atmosférica.

En diciembre de 2007 tuvo lugar una Cumbre en Bali (Indonesia) donde se reunieron representantes de más de 190 países convocados por las Naciones Unidas para "desatascar" del punto muerto en que se encontraba el Protocolo de Kioto tras la negativa de participación de los Estados Unidos. Se planteó en primer lugar estudiar un nuevo protocolo que tuviera en consideración a los nuevos países emergentes como China e India. Dicho protocolo intentará reemplazar al de Kioto y se llevará a cabo en Copenhague en el año 2009. También se ha tratado el tema de la transferencia de tecnología a los países en desarrollo. Al conocer esta nueva medida, los Estados Unidos retiraron su oposición y aceptaron buscar un acuerdo junto para sumarse al consenso en la lucha contra el cambio climático.

4. Conclusiones

El cambio climático es uno de los principales temas de estudio y de debate en las cuestiones ambientales en la actualidad. El motivo

es el impacto que pueden tener sus efectos a mediano y largo plazo en la economía y desarrollo de los países, y sobre todo el deterioro global de los ecosistemas. En esta ocasión el cambio climático hace referencia al calentamiento global del planeta más que a una posible edad de hielo.

Aunque las principales investigaciones en torno al clima tuvieron como objetivo principal conocer las causas de las edades de hielo prehistóricas, a partir de la década del 60 se fueron confirmando datos acerca de una acelerada variación climática debido a posibles causas antropogénicas.

A día de hoy los conocimientos acerca del clima todavía arrojan muchas dudas e incertidumbre. Esto se debe principalmente a que las mediciones rigurosas son muy recientes y el periodo resulta insignificante al hablar de tiempos geológicos. Por ejemplo, una de las mediciones puntuales se han llevado a cabo a partir de 1895 por el NOAA; y la medición del dióxido de carbono en la atmósfera comenzó gracias a un proyecto liderado por Keeling en 1958. Los modelos informáticos se van mejorando paulatinamente pero hay numerosas variables y correlaciones que son difíciles de estimar e incluso procesar. Por este motivo, la comprensión del clima deja un margen muy amplio para el debate. Aún así, la comunidad internacional a través de las Naciones Unidas ha impulsado un grupo de científicos para investigar este tema, se trata del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Los primeros informes del IPCC resultaron alarmantes y controvertidos, los escenarios propuestos dejaban mucho margen de incertidumbre. A medida que pasaron los años dichos informes se fueron mejorando y en 2007 los resultaron pusieron de manifiesto que las causas antropogénicas inciden en el aumento de la temperatura global de la Tierra. Los datos científicos presentados por el IPCC en 2007 presentan numerosas pruebas que llevan a confirmar un inequívoco aumento de la temperatura de nuestro planeta en las

últimas décadas. Los escenarios y los posibles impactos de este hecho no son tan pesimistas como en los primeros informes, dan lugar a una mejora pero sugieren una relación directa con el aumento de los gases de efecto invernadero como causante principal del cambio climático.

En 2007 la Academia Nóbel ha distinguido al IPCC y a Albert Gore con el Premio Nóbel de la Paz. Al primero por el trabajo de compilación, estudio y difusión internacional consensuada en la comunidad científica sobre el cambio climático en los últimos veinte años; y al segundo por su tarea de difusión del mensaje en torno al cuidado medioambiental y sobre todo a la necesidad de intervenir de manera política en un cambio de actitudes y formas de vida que mejoren la calidad ambiental de nuestro planeta. Se sabe que el Premio Nóbel de la Paz es de índole política, no pretende confirmar la veracidad científica de los informes del IPCC; pero significa un apoyo acerca de las tendencias de acción política y social en todo el mundo. A finales de 2007, mediante el Acuerdo de Bali, el Gobierno de los Estados Unidos decidió apoyar a los países que habían ratificado el Protocolo de Kioto y comprometerse a ejecutar medidas de control de emisiones y sobre todo de desarrollo de nuevas formas de tecnología que produzcan energías "limpias". Esto representa un paso significativo porque marca la dirección de las inversiones tecnológicas y del desarrollo económico de los próximos años.

Tampoco hay que olvidar que existen otras teorías que compiten con las del efecto invernadero. Algunos científicos piensan que el calentamiento global puede deberse a causas naturales y en este caso poco se puede hacer. Lomborg, conocido investigador que se ha caracterizado por objetar científicamente las conclusiones de numerosos grupos ecologistas de tendencia alarmista, pone en tela de juicio la estrategia de gastar una ingente cantidad de dinero en escenarios que tal vez no se cumplan, o que aún llevándolos a cabo no conseguirán tener la efectividad que se piensa. Lomborg sugiere

atender temas mucho más urgentes e inmediatos como pueden ser las situaciones de hambre, enfermedad y subdesarrollo que afectan a millones de personas en gran parte del mundo, sobre todo en países del hemisferio sur.

Por otro lado, hay numerosos grupos que aprovechan esta situación de incertidumbre para forzar sus formas propias de concebir las políticas económicas y de desarrollo. Esto es inevitable y no es de extrañar que cause gran confusión y descrédito en personas desinformadas.

Dejando de lado las “teorías de las conspiraciones”, hay acuerdo científico de que el calentamiento global es un hecho verificado. También hay certeza con respecto al impacto de la intervención humana en el medio ambiente y del deterioro que ha ido ocasionando especialmente desde la época industrial. Esto último debido a que la capacidad de explotación de los recursos naturales se ha incrementado exponencialmente mediante el desarrollo tecnológico. Pero no solamente por este motivo, también como resultado del aumento de la población y su forma de consumo de recursos; así como por los conflictos bélicos que han cegado numerosas vidas, causado desplazamientos migratorios de millones de personas y deteriorado los ecosistemas. Ante esta perspectiva, ¿qué podemos hacer?

Las señales de deterioro ambiental son evidentes, pero también se ha comprobado que la acción humana es capaz de revertir situaciones de daño ambiental. Ejemplo de esto es la disminución de las emisiones que provocaban la destrucción de la capa de ozono; las políticas de reforestación que han podido recuperar grandes hectáreas de superficie de bosques; las técnicas de protección de la fauna y las mejoras en la ordenación del territorio. La norma jurídica también ha supuesto un gran apoyo para la protección del medio ambiente y los causes políticos cada vez orientan sus planes a la tarea de proteger y cuidar los recursos naturales. Así se

puede decir que la acción humana puede intervenir tanto de manera positiva como negativa en el medio ambiente.

Gracias las investigaciones en una nueva área de las éticas aplicadas denominada “ética medioambiental” (Environmental Ethics), podemos decir que la actitud ética del ser humano con respecto a la naturaleza es la vía más adecuada para disponer al ser humano en la tarea de reparar los daños causados y reconducir las malas políticas económicas, de desarrollo y gestión de nuestra sociedad. ¿Por qué? Simplemente porque no se puede rectificar si no hay una conciencia clara del daño y perjuicio que se está ocasionando. O si se quiere, viéndolo de manera positiva, sólo si nos damos cuenta del gran bien que produce nuestra manera de actuar en la sociedad y en el medio ambiente, nos animaremos a proseguir en esa dirección.

Los científicos nos ofrecen la información y su grado de certeza, pero no pueden dar recomendaciones éticas, políticas o económicas, sólo técnicas y valoraciones personales. Por eso el tema ambiental es interdisciplinario, hace falta la intervención de numerosas disciplinas que puedan ordenar el conocimiento y contribuir desde su respectivo ámbito. Esta labor de conjunto no es sencilla, pero si se estiman las posibles consecuencias futuras, eso serviría de acicate para dejar a un lado los intereses sectoriales y buscar un bien común mayor. En realidad esto significa aprender a convivir en un entorno global.

La ética ambiental nos ofrece algunos principios de actuación, los dos más importantes son el principio de responsabilidad y el principio de solidaridad. El primero nos advierte acerca de las repercusiones de nuestro obrar según el alcance de nuestra formación profesional, posición social o cargo político. Somos responsables de las personas que nos rodean, de las que están a nuestro cargo, pero también de las que vendrán en el futuro (generaciones futuras). Nuestra libertad tiene un precio, la responsabilidad que conlleva. El

segundo principio básico es el de solidaridad, que nos exige tener una actitud de preocupación y apertura social. Este principio nos induce a desarrollar el hábito de pensar en los demás y en sus necesidades, no solamente en mí mismo desde un punto de vista egoísta. El hombre es un ser social por naturaleza. Vive en comunidad y está volcado a ella mediante su servicio y su acción. La colaboración y comprensión hacia los demás seres de nuestro entorno es un paso fundamental para mejorar la convivencia y aprender a exigir y ceder comportamientos donde nos respetemos mutuamente.

En el caso concreto del calentamiento global, saber que es un hecho claro y que el deterioro del medioambiente puede mejorarse con nuestra acción nos obliga a tomar medidas concretas. Otro principio de la ética ambiental nos habla de la precaución que tenemos que tener hacia los peligros que nos advierte la ciencia y el conocimiento del medio ambiente, para evitar daños mayores y caros a las generaciones posteriores. Esto tiene que ver con el conocido "desarrollo sostenible". Es preciso arbitrar los medios oportunos para prevenir aquellas malas prácticas que pueden empeorar la situación ambiental. Por este motivo, es preciso apoyar las políticas del cuidado ambiental sin menoscabar las necesidades primarias de la sociedad.

Muchas veces se piensa que las soluciones a los problemas humanos provienen únicamente desde la perspectiva técnica, económica o política; tal como señalan algunos principios del Informe Brundtland acerca del Desarrollo Sostenible. Sin embargo, serían insuficientes si no se contempla la situación cultural de cada sociedad. En este sentido, es preciso convenir en unos principios universales que contribuyan a esta labor. Tal vez como los que han sido enunciados en la Carta de los Derechos Humanos. Es preciso que se legitime y defienda la vida humana en primer lugar, que nos obligue por mero hecho de pertenecer a esta especie; y, en segundo lugar, a otros tipos de vida conforme sigan las leyes del equilibrio dinámico de la ecología y sus redes tróficas.

También es necesario permitir un espacio de desarrollo según las creencias, las costumbres que contribuyen a la cohesión social y al bienestar de la comunidad. El respeto hacia las normas legítimas de convivencia es otro medio que contribuye a mejorar el entorno vital; por eso la consolidación de un estado de derecho con normas justas y adecuadas a cada sociedad permitiría una transición más sólida en un entorno peligroso e incierto como el que vivimos actualmente.

Como se señaló anteriormente, vuelvo a subrayar la idea de que el ámbito de nuestra responsabilidad viene establecido por el ámbito de nuestra libertad, entre ambas existe una relación proporcional. A más libertad, más responsabilidad. Pero también el puesto que ocupamos en la sociedad nos obliga. En el aspecto familiar: como hijos, padres o familia; en el aspecto profesional, podemos contribuir a mejorar el medio ambiente según sea nuestra formación. Unos lo harán de manera más directa como técnicos de la ingeniería ambiental, biólogos, físicos, químicos, etc.; otros desde otra perspectiva que también incidiría en la toma de decisiones, como los políticos o los economistas. De cualquier manera, nuestra acción no deja tener algún grado de influencia y en este aspecto nadie puede eludir su propia responsabilidad.

Notas

1. Documento elaborado para las Jornadas de Diálogos Educativos con el mundo contemporáneo: "Nuestro mundo, nuestro futuro. Educación y Medio Ambiente", CES Cardenal Espínola CEU, Sevilla, 5 de diciembre de 2007. La investigación que ha dado como resultado este trabajo forma parte del Proyecto: *Análisis e implicaciones éticas de los Principios de Protección Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Consejo de Europa* (Documento CO-DBP 2003/2) HUM 2004-06569/FISO.
2. El cambio climático es el cambio de la temperatura a largo plazo, no se refie-

- re al cambio de tiempo que aparecen en los pronósticos meteorológicos todos los días, sino a algo más constante en un período determinado. Esta es la diferencia entre clima y temperatura.
3. Cfr. Arrhenius, S., (1896). "On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground", en: *Philosophical Magazine* 41: 237-76. Arrhenius a la sazón estudiaba algunas hipótesis que explicaran la Edad de Hielo prehistórica.
 4. Cfr. Weart, S., "The Carbon Dioxide Greenhouse Effect", en *The Discovery of Global Warming*, <http://www.aip.org/history/climate/co2.htm>, Julio 2004, p. CO2-7 del PDF.
 5. Weart, S., *El calentamiento global. Historia de un descubrimiento científico*, Laetoli, Pamplona, 2006, p.44 (trad: José Luis Gil Aristu). Roger Revelle (1909-1991), oceanógrafo investigador y administrador norteamericano, fue impulsor de la expansión de la Scripps Institution of Oceanography (San Diego, California) y pudo mostrar que cualquiera fuese la suma de CO₂ añadida por los hombres a la atmósfera, los océanos no la tragarían con rapidez sino sólo al cabo de milenios; Hans Suess (1909-1993), físico nuclear austriaco y químico especialista en radiocarbono, estudió la aplicación de la técnica del radiocarbono al estudio de la geoquímica; Guy Stewart Callendar (1898-1964), ingeniero especializado en energía de vapor había estudiado el clima como aficionado y había recopilado numerosas estadísticas meteorológicas, en 1938 planteó a la Royal Meteorological Society la existencia del calentamiento global con causa antropogénica; Gilbert Plass (1921?-2004), físico canadiense que en 1956 consiguió elaborar los cálculos que demostraron que la adición o sustracción parcial de CO₂ podía ejercer una influencia reduciendo o aumentando seriamente la cantidad de radiación que escapaba al espacio de la superficie Terrestre.
 6. Idem, p.52.
 7. En realidad ha habido una interrupción en las mediciones correspondiente a la primavera de 1964, a consecuencia de que en 1963 se habían agotado los fondos del proyecto hasta que Keeling pudo conseguir nuevos recursos.
 8. Cfr. Extracto de la página oficial de IPCC: <http://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm> (Última visita: 9 de enero de 2008).
 9. Resumen del Informe del Grupo de Trabajo I para Responsables de Políticas, "Cambio climático 2007: Las bases científicas y físicas", París, Febrero de 2007, traducción de cortesía realizada por el Ministerio de Medio Ambiente de España.
 10. Los reportes científicos del IPCC han utilizado la siguiente terminología para explicar los diferentes grados de probabilidad: prácticamente seguro (mayor del 99% de que el resultado sea verdadero); extremadamente probable (mayor del 95% de probabilidades); muy probable (mayor del 90%); probable (mayor del 66%); más probabilidad que sí que de que no (mayor del 50%); improbable (menor del 33% de probabilidad); muy improbable (menor del 10%); extremadamente improbable (menor del 5%).
 11. IPCC, "Climate Change 2001: Synthesis Report", Cambridge, Cambridge University Press. Los documentos del IPCC se encuentran disponibles en <http://www.ipcc.ch>.
 12. Cfr. Gardiner, S.M., "Ethics and Global Climate Change", en *Ethics* 114, April 2004, p.561.
 13. Cfr. MET Office, *Historical Central England Temperature Data 1659-2007*, <http://badc.nerc.ac.uk/data/cet/> (Última visita: 01-05-2007).
 14. El estudio de la temperatura a partir de los anillos de crecimiento de los árboles se denomina dendroclimatología. (N.del autor)
 15. Lomborg, B., *El ecologista escéptico*, Espasa Calpe, Madrid, 2005, p.366.
 16. Para información sobre la teoría de Milankovitch, cfr: Howard, K., "The Milankovitch Theory", Emporia State University, November 2002. <http://www.emporia.edu/earthsci/student/howard2/theory.htm> (Última visita: 01-05-2007). Para ver relación glaciación y efecto Milankovitch, cfr. Ferrer Rodríguez, A., "Glaciaciones y astronomía. Ciclos de Milankovitch", Agrupación Astronómica de la Safor, Valencia, Enero 2003. <http://www.astrosafor.net/Huygens/2003/41/Glaciaciones.htm> (Última visita: 01-05-2007)
 17. *Ibidem*.
 18. Idem, p.368.
 19. Mann, M.E., Bradley, R.S. y Hugges, M.K.; "Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations", en *Geophysical Research Letters*, 26(6), 1999, pp.759-752; Jones, P.D., Briffa, K.R., Barnett, T.P. y Tett, S.F.B., "High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures", *The Holocene* 8, 1998, pp.455-471; Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H. y Osborn, T.J., "Influence of volcanic eruptions on northern hemisphere summer temperature over the past 6000 years", en *Nature* 393(6684), 1998, pp.450-455; Huang, S., Pollack, H.N., y Shen, P.Y., "Temperature trends over the past five centuries reconstructed

- from borehole temperatures”, en *Nature*, 403, 2000, pp.756-758. Fuentes utilizadas por Lomborg, B., op.cit., pp.366-369.
20. Cfr. Lawrence Solomon, “The sun moves climate change”, publicado en *Financial Post*, 5 de enero de 2007. <http://www.nationalpost.com/news/story.html?id=d2113c58-030a-4390-a12c-30f45d75dfa5> (Última visita: 31 de diciembre de 2007).
 21. Sobre la hipótesis de Svensmark, cfr.: Svensmark, H. y Friis-Christensen, E.; “Variation of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Coverage - a Missing Link in Solar-Climate Relationships”, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59 (11) (1997) 1225-1232; Svensmark, H.; “Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate”, en: *Physical Review Letters*, Noviembre 30, 1998, Vol. 81, Issue 22, pp. 5027-5030.
 22. Fuente: Svensmark, H.; “Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate”, op. cit., fig. 1.
 23. Cfr. Comunicado de prensa de la NASA, 10 de marzo de 2006 y artículos relacionados sobre el tema. Ver en: http://ciencia.nasa.gov/headlines/2006/10mar_stormwarning.htm; (Última visita: 4 de mayo de 2007).
 24. Aquí también se puede mencionar las investigaciones realizadas por el científico danés Henrik Svensmark que planteó la teoría de que el Sol y los rayos cósmicos son los causantes del calentamiento global cuando actúan sobre nuestro planeta en presencia o ausencia de las nubes. Cfr. Svensmark, H. y Friis-Christensen, E.; “Variation of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Coverage - a Missing Link in Solar-Climate Relationships”, en: *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59 (11), 1997, pp. 1225-1232; Svensmark, H.; “Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate”, en: *Physical Review Letters*, 81 (22), 1998, pp. 5027-5030.
 25. Cfr. Revista I+DT Info, Comisión Europea, Febrero 2006, N° 48, Dossier Especial. Para acceso por Internet: http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/48/01/article_3786_es.html (Última visita: 31 de diciembre de 2007).
 26. Cfr. <http://weblogs.madrimasd.org/energiasalternativas/archivo/2007/03/21/61918.aspx> (Última visita: 31 de diciembre de 2007).
 27. Para el Proyecto DeepBug, cfr.: <http://www.chm.bris.ac.uk/deepbug/index.htm> (Última visita: 31 de diciembre de 2007).
 28. Cfr. http://www.inm.es/mar/1_Introduccion/1.6_Antartida/Historia_agujero_ozono.html; http://www7.nationalacademies.org/spanishbeyonddiscovery/env_007545-09.html; <http://www.nobel.unam.mx/molina/autobio.html> (Última visita: 7 de enero de 2008).
 29. En el año 2005 se ha elaborado un informe a cargo del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) por invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Montreal: “La protección de la capa de ozono y el cambio climático mundial: cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos”.
 30. Extracto de “Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, Resumen para Responsables de Políticas”. Este resumen, aprobado en detalle en el 9º Período de Sesiones del Grupo de Trabajo III del IPCC, en Bangkok, Tailandia, representa la declaración acordada formalmente por el IPCC respecto de la mitigación del cambio climático, 4 de mayo de 2007.
 31. Cfr. IPCC, “Informe Especial. Escenario de emisiones”, Resumen para responsables de políticas, Grupo de Trabajo III, 2000.
 32. Recuerdo que el enfoque del presente trabajo apunta más bien a la reflexión de la ética ambiental y no desea detenerse en el debate técnico-científico sino solamente mostrarlo de manera global y como elemento de juicio. Si se desea profundizar en los datos comentados remito al lector a la bibliografía citada al final del trabajo.
 33. Se hablará sobre el origen y funciones del IPCC en el epígrafe 2.
 34. Cfr. Gardiner, S.M., op.cit., nt.12, p.560.
 35. Estos escenarios aparecen en los informes del IPCC con el anagrama SRES (*Special Report of Emission Scenarios 2000*). El primer escenario propuesto se ha denominado IS92a.
 36. Cfr. Cubash, U., “Climate projections, including regional projections and sea level”, *Modelle & Daten*, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany, 2001, en: <http://www.ipcc.ch>
 37. Cfr. Jacobson, M.Z., “Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols”, en *Nature* 409 (6821), 2001, pp.695-697; Andreae, M.O., “The dark side of aerosols”, en *Nature* 409 (6821), 2001, 671-672. Referencias de Lomborg, B., op.cit., nt.92, p.538.
 38. Cfr. Lomborg, B., op.cit., pp.374-378.
 39. Cfr. IPCC, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, con-

- tribución del grupo de trabajo II al Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S., (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
40. Lomborg, B., op.cit., p.381.
41. Informe especial IPCC/GETE sobre "La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los Hidrofluorocarbonos y los Perfluorocarbonos", Resumen para responsables de políticas, Grupos de Trabajo I y III del IPCC, 2005.
42. Este mismo gráfico aparece en la obra de Lomborg, cfr. p.375.
43. La enumeración de signos no pretende ser exhaustivo y tampoco profundizaré en el análisis de las fuentes por razones de espacio.
44. Se puede revisar la documentación sobre este debate en la página oficial de la NOAA: <http://usasearch.gov/search?affiliate=noaa.gov&v%3Aproject=firstgov&query=global+warming+and+hurricanes> (Última visita: 17 de enero de 2008).
45. El último informe del Grupo II del IPCC sobre Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad ante el Cambio Climático dice explícitamente que no se puede atribuir un caso puntual como el Huracán Katrina al calentamiento global, cfr. Parry, M; Canziani, O; Palutikof, J; van der Linden, P y Hanson, P; "Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability", contribution of Working Group II for the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, 2007, p.332.
46. Lomborg, B., *El ecologista escéptico*, op.cit., p.412.
47. Idem, p. 413.
48. Idem, p.401.
49. IPCC, "Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico", Grupo de Trabajo II, 2001, p.26.
50. IPCC, "Informe especial del IPCC. Impactos regionales del Cambio Climático: Evaluación de la vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas", Grupo de Trabajo II, Noviembre de 1997.
51. Los tres asteriscos (***) significan "confianza muy alta"; dos (**) equivale a "confianza alta" y un asterisco (*) a "confianza media".
52. IPCC, 2007: Resumen para Responsables de Políticas. En, Cambio Climático 2007: Impactos y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 7.
53. Cfr. Weart, S., *El calentamiento global. Historia de un descubrimiento científico*, op.cit., p.82.
54. dem, pp.82-83.
55. Se puede acceder al texto del Protocolo de Kioto en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> (Última visita: 15 de enero de 2008).
56. Para mayor información sobre los países que han firmado el Protocolo ver: http://unfccc.int/porta/espanol/essential_background/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/3331.php (Última visita: 16 de enero de 2008).
57. La explicación de estos términos jurídicos puede verse en la guía de referencia sobre el Tratado de las Naciones Unidas: "UN's Treaty Reference Guide".
58. Ibidem.