

**INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE
GASES DE EFECTO INVERNADERO
Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Henry Oswaldo Benavides Ballesteros
Gloria Esperanza León Aristizabal

CONTENIDO

1. CLIMA Y CAMBIO CLIMATICO.....	1
1.1 EL CLIMA.....	1
1.2 FACTORES CLIMÁTICOS.....	2
1.3 NORMA Y ANOMALÍA CLIMÁTICA.....	3
1.4 FLUCTUACIONES CLIMÁTICAS.....	3
1.5 SISTEMA CLIMÁTICO.....	4
1.5.1 Atmósfera.....	4
1.5.2 Océano.....	5
1.5.3 Criósfera.....	6
1.5.4 Biósfera.....	7
1.5.5 Litósfera.....	8
1.6 CICLO HIDROLÓGICO.....	8
1.7 CICLO DEL CARBONO.....	9
1.8 FACTORES FORZANTES DEL CLIMA.....	11
1.8.1 Forzantes externos.....	13
1.8.2 Forzantes internos.....	17
1.9 RETROALIMENTACIÓN.....	23
1.10 SENSIBILIDAD CLIMÁTICA.....	24
2. EFECTO INVERNADERO.....	25
2.1 EFECTO INVERNADERO NATURAL.....	25
2.2 REFORZAMIENTO DEL EFECTO INVERNADERO.....	26
2.3 CAMBIO CLIMÁTICO.....	29
2.4 CALENTAMIENTO GLOBAL.....	31
2.5 CAMBIO GLOBAL.....	31
2.6 OSCURECIMIENTO GLOBAL.....	32
3. GENERALIDADES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)...	36
3.1 GEI DIRECTOS.....	36
3.1.1 Dióxido de carbono (CO ₂).....	36
3.1.2 Metano (CH ₄).....	37
3.1.3 Óxido nitroso (N ₂ O).....	39
3.1.4 Compuestos halogenados.....	39
3.1.5 Ozono troposferico.....	41
3.1.6 Vapor de agua.....	41
3.2 GEI INDIRECTOS.....	43
3.2.1 Óxidos de nitrógeno (NO _x).....	43
3.2.2 Monóxido de carbono (CO).....	44
3.2.3 Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM).....	45
3.3 ÓXIDOS DE AZUFRE Y PARTÍCULAS.....	45
3.4 CONCENTRACIONES DE LOS GEI.....	47
4. INFORMES DE EVALUACIÓN DEL IPCC.....	50
4.1 QUE ES EL IPCC.....	50

4.2	TERCER REPORTE DE EVALUACIÓN.....	51
4.3	CUARTO REPORTE DE EVALUACIÓN.....	53
4.4	CAMBIO CLIMÁTICO EN CUMBRE G8, ALEMANIA 2007.....	54
4.5	ESCENARIOS DE EMISIONES IE-EE DEL IPCC.....	55
5.	CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA (Indicadores que manifiestan cambios en el sistema climático).....	57
5.1	A NIVEL GLOBAL.....	57
5.2	A NIVEL NACIONAL.....	66
5.2.1	Generación de indicadores de cambio climático.....	66
5.2.2	Otras manifestaciones del cambio climático.....	69
5.2.3	Retroceso de los glaciares en Colombia.....	70
6.	IMPACTOS PROYECTADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	74
6.1	A NIVEL GLOBAL.....	74
6.2	A NIVEL NACIONAL.....	81
6.2.1	Zonas costeras e insulares.....	81
6.2.2	Coberturas vegetales.....	82
6.2.3	Ecosistemas de paramos.....	83
6.2.4	Sector agropecuario.....	83
6.2.5	Salud humana.....	83
6.2.6	Recursos hídricos.....	84
7.	PRIMERA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO SOBRE CAMBIO CLIMATICO.....	85
8.	CONVENIOS Y PROTOCOLOS.....	86
8.1	CONVENCIÓN MARCO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO.....	86
8.2	PROTOCOLO DE KYOTO.....	86
9.	PROYECTOS DEL IDEAM RELACIONADOS CON EL CAMBIO CLIMATICO.....	89
9.1	SEGUNDA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO SOBRE CAMBIO CLIMATICO.....	89
9.2	PROYECTO NACIONALINTEGRADO DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (INAP).....	89
9.3	PROYECTO PHRD.....	91
10.	QUE HACER PARA EVITAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL??.....	92

1. CLIMA Y CAMBIO CLIMATICO

El clima no ha sido constante a lo largo de la historia. Los registros históricos y geológicos muestran claramente las variaciones del clima en una amplia gama en la escala temporal. En la escala pequeña, de unos cuantos meses, las variaciones están representadas por sucesiones de periodos secos y lluviosos a lo largo del año. En cuanto a las escalas largas, como de varios siglos, están determinadas por eras glaciares e interglaciares (por ejemplo, la Pequeña Edad de Hielo, correspondiente a un período frío desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX, fue seguida por un periodo más calido y es el que rige en nuestros días).

A finales del siglo veinte y lo que va corrido del veintiuno se ha presentado uno de los periodos más cálidos y la temperatura media de la Tierra ha tenido los valores más altos de los últimos 130.000 años. En el boletín de la OMM del 7 de agosto de 2007, se informó sobre los nuevos record mundiales, siendo enero y abril del 2007 los más cálidos desde 1880, superándose el promedio de enero en 1,89°C y en 1,37°C el de abril. En diciembre de 2007 la OMM señaló que la década 1998-2007 fue la más caliente de acuerdo a los registros históricos con un promedio de 14,42 °C (el promedio del periodo 1961-1990 fue de 14,0°C). Los últimos informes del IPPC (2007), valoran que la tasa lineal de calentamiento promedio de los últimos 50 años es de 0,13°C por década (siendo casi el doble al promedio de los últimos 100 años) y que el año 1998 ha sido el año más cálido con una temperatura media global de 14.54°C.

1.1 EL CLIMA

Antes de abordar el tema del cambio climático, resulta muy importante establecer las diferencias entre *tiempo* y *clima*. El primero se refiere específicamente a la determinación del comportamiento y evolución de los procesos que gobiernan la atmósfera en las horas subsiguientes (12, 24, 48 y 72 horas, generalmente), en tanto que el clima esta más relacionado con el concepto de permanencia y en este sentido se ocupa del análisis de los procesos atmosféricos alrededor de sus valores promedio, los cuales son producto de la evaluación de observaciones de largos períodos de tiempo, generalmente no inferiores a 30 años, conocidos como Normales Climatológicas. También es definido como el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, el cual se caracteriza por los estados y evoluciones del tiempo en un lugar o región determinada o en el planeta entero, durante un período de tiempo relativamente largo.

Aunque básicamente las variables climáticas se relacionan con la atmósfera, los procesos atmosféricos predominantes en un lugar o región están relacionados con la superficie terrestre, incluidas las cortezas continental y oceánica y parte del manto superior (litosfera), los océanos, mares interiores, ríos y aguas subterráneas (hidrosfera) y las zonas terrestres cubiertas por hielo (criósfera). Así mismo existe

una estrecha relación de dichos procesos con la vegetación y otros sistemas vivos tanto del continente como del océano (biosfera y antropósfera).

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático.

A través de la historia, se han presentado fluctuaciones del clima en escalas de tiempo que van desde años (variabilidad climática interanual) a milenios (cambios climáticos globales). Estas variaciones se han originado por cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los factores forzantes.

El clima actual está caracterizado a través de términos estadísticos tales como la media, la frecuencia relativa, la probabilidad de valores extremos del estado de la atmósfera o de los elementos climáticos en una determinada área.

1.2 FACTORES CLIMÁTICOS

El clima de la Tierra depende del equilibrio radiativo que está controlado por factores radiativos forzantes, por factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera).

La radiación solar es el combustible que pone en movimiento la máquina atmosférica y junto con la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un efecto invernadero (gases traza con actividad radiativa), de las nubes y de los aerosoles, son los factores forzantes del clima de mayor trascendencia. Estos agentes de forzamiento radiativo varían tanto de forma natural como por la actividad humana, produciendo alteraciones en el clima del planeta.

Ahora, los factores determinantes del clima, se refieren a las condiciones físicas y geográficas, que son relativamente constantes en el tiempo y en el espacio y que influyen en el clima en aspectos relacionados con la transferencia de energía y calor. Los de mayor importancia son la latitud, la elevación y la distancia al mar. Otros factores que intervienen en las variaciones del clima son las corrientes marinas, la cobertura vegetal, los glaciares, los grandes lagos, los ríos y la actividad humana.

Debido a las variaciones de la latitud y a las diferencias en la absorción de energía por la superficie terrestre se forman contrastes de temperatura y de presión atmosférica que dan el inicio al movimiento que redistribuye la energía (calor) y la masa (vapor de agua) en la atmósfera del planeta. Es así, como la radiación solar se constituye en el empuje inicial de la circulación general de la atmósfera. Por ello, el

clima de la Tierra sufre cambios cuando varía la cantidad de radiación solar que llega al sistema climático o cuando varían las características de reflexión-absorción-emisión de la superficie terrestre.

1.3 NORMA Y ANOMALÍA CLIMÁTICA

En climatología se utilizan los valores promedios para definir y comparar el clima. La norma climática es una medida utilizada con este propósito y representa el valor promedio de una serie continua de observaciones de una variable climatológica, durante un periodo de por lo menos 30 años. Para fines prácticos, se ha establecido por acuerdos internacionales periodos de 30 años a partir de 1901 (actualmente se utiliza el periodo 1961-1990).

El término anomalía climática es usado para describir la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un mes, con respecto al valor medio histórico o norma de la variable climática correspondiente, durante el mismo lapso, en un lugar dado.

1.4 FLUCTUACIONES CLIMÁTICAS

El clima varía en las escalas del tiempo y del espacio. Grandes áreas de la Tierra sufren fuertes variaciones como parte normal del clima, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde la precipitación experimenta cambios significativos. Los extremos climáticos pueden afectar a cualquier región: por ejemplo, severas sequías pueden ocurrir en zonas húmedas e inundaciones ocasionales en regiones secas.

Para fines analíticos, las fluctuaciones pueden ser definidas como cambios en la distribución estadística usual utilizada para describir el estado del clima. La estadística climática comúnmente usada se refiere a los valores medios de una variable en el tiempo. Los valores medios pueden experimentar tendencias, saltos bruscos, aumentos o disminuciones en la variabilidad o, aun, una combinación de tendencias y cambios en la variabilidad (ver Figura 1).

La Variabilidad Climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima, alrededor de una condición promedio, durante períodos de tiempo relativamente cortos.

La variación observada en el clima durante periodos consecutivos de varias décadas, se llama cambio climático. El cambio climático determina diferencias en los valores medios de un elemento climático a lo largo del tiempo; es decir, que cualquier cambio climático significativo puede dar lugar al establecimiento de un nuevo clima normal y por lo tanto, a un ajuste en las actividades humanas. Procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra

(excentricidad o inclinación), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad, son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Aspectos internos del sistema climático también pueden producir fluctuaciones de suficiente magnitud y variabilidad a través de los procesos de retroalimentación de los componentes del sistema climático.

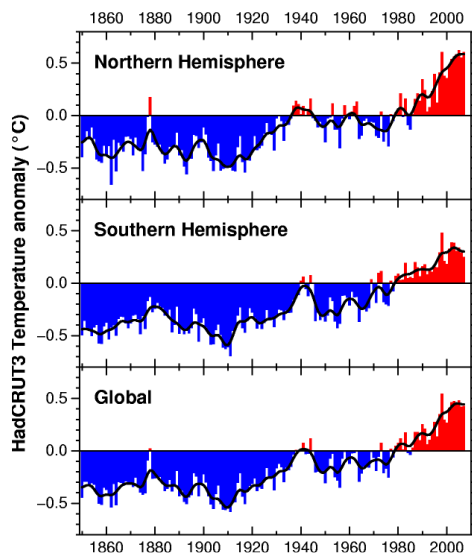


Figura 1. Series de tiempo de temperatura global en superficie obtenida de registros en tierra y mar entre 1850 y 2006. El año 2006 fue el sexto año más caliente, después de 1998, 2005, 2003, 2002 y 2004. Las series de tiempo son agrupadas conjuntamente por el Climatic Research Unit y UK Met. Office Hadley Centre, del reino Unido.

1.5 SISTEMA CLIMÁTICO

El sistema climático es un sistema altamente complejo integrado por cinco grandes componentes: atmósfera, hidrosfera (océanos y mares), litosfera (superficie terrestre continental e insular), criósfera (hielo marino, cubierta de nieve estacional, glaciares de montaña y capas de hielo a escala continental) y la biosfera (vida vegetal y animal, incluida la humana), y las interacciones entre ellos (ver Figura 2). El sistema climático evoluciona con el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares y los forzamientos inducidos por el ser humano, como los cambios en la composición de la atmósfera y los cambios en el uso de la tierra.

1.5.1 ATMÓSFERA

La atmósfera seca está compuesta casi enteramente de nitrógeno (en una relación de mezcla volumétrica de 78,1%) y oxígeno (20,9%), más una serie de oligogases como el argón (0,93%), el helio y gases de efecto invernadero como el dióxido de

carbono (0,035%) y el ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua en cantidades muy variables (alrededor del 1%) y aerosoles¹.

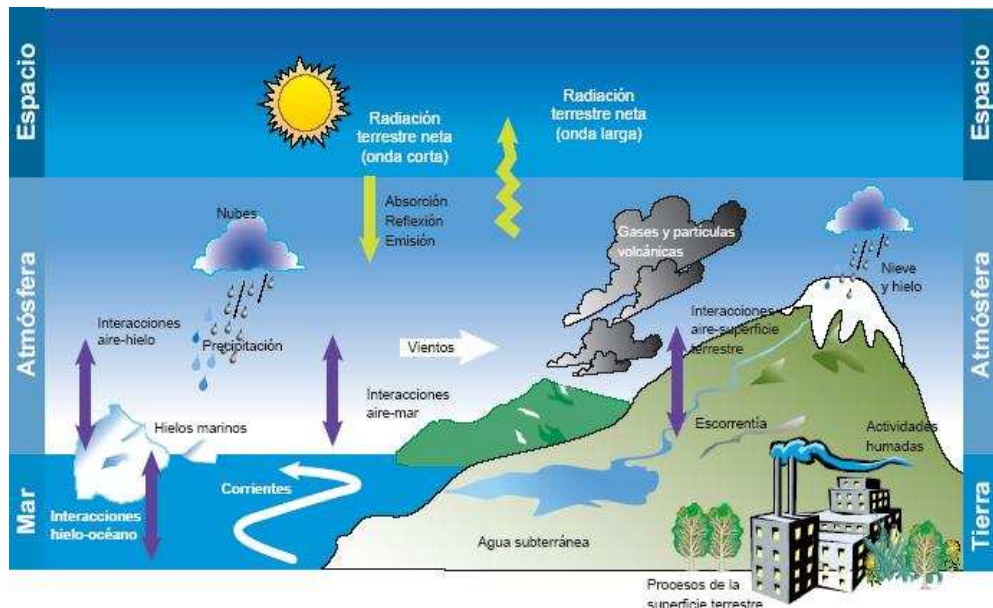


Figura 2. Componentes del sistema climático (OMM)

Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). Hay además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono, estos compuestos pueden actuar como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera y son también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono en la atmósfera) regulados por el Protocolo de Montreal. Además del CO_2 , el N_2O y el CH_4 , el Protocolo de Kyoto establece normas respecto al hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

1.5.2 OCÉANO

Existe transferencia de momentum al océano a través de los vientos superficiales, que a su vez movilizan las corrientes oceánicas superficiales globales. Estas

¹ Conjunto de partículas sólidas o líquidas en suspensión en el aire, cuyo tamaño oscila generalmente entre 0,01 y 10 mm y que permanecen en la atmósfera como mínimo durante varias horas. Los aerosoles pueden ser de origen natural o antropogénico. Los aerosoles pueden influir en el clima de dos maneras: directamente, mediante la dispersión y la absorción de la radiación, e indirectamente, al actuar como núcleos de condensación para la formación de nubes o al modificar las propiedades ópticas y el período de vida de las nubes.

corrientes asisten en la transferencia latitudinal de calor, análogamente a lo que realiza la atmósfera. Las aguas cálidas se movilizan hacia los polos y viceversa. La energía también es transferida a través de la evaporación. El agua que se evapora desde la superficie oceánica almacena calor latente que es luego liberado cuando el vapor se condensa formando nubes y precipitaciones.

Lo significativo de los océanos es que almacenan mucha mayor cantidad de energía que la atmósfera. Esto se debe a la mayor capacidad calórica (4,2 veces la de la atmósfera) y su mayor densidad (1000 veces mayor). La estructura vertical de los océanos puede dividirse en dos capas, que difieren en su escala de interacción con la atmósfera. La capa inferior, que involucra las aguas frías y profundas, compromete el 80% del volumen oceánico. La capa superior, que está en contacto íntimo con la atmósfera, es la capa de frontera estacional, un volumen mezclado que se extiende sólo hasta los 100m de profundidad en los trópicos, pero que llega a varios kilómetros en las aguas polares. Esta capa sola, almacena 30 veces más energía que la atmósfera. De esta manera, un cambio dado de contenido de calor en el océano redundará en un cambio a lo menos 30 veces mayor en la atmósfera. Por ello pequeños cambios en el contenido energético de los océanos pueden tener un efecto considerable sobre el clima global y claramente sobre la temperatura global.

El intercambio de energía también ocurre verticalmente, entre la Capa Frontera y las aguas profundas. La sal contenida en las aguas marinas se mantiene disuelta en ella al momento de formarse el hielo en los polos, esto aumenta la salinidad del océano. Estas aguas frías y salinas son particularmente densas y se hunden, transportando en ellas considerable cantidad de energía. Para mantener el equilibrio en el flujo de masas de agua existe una circulación global termohalina, que juega un rol muy importante en la regulación del clima global.

1.5.3 CRIÓSFERA

La criósfera consiste de las regiones cubiertas por nieve o hielo, sean tierra o mar. Incluye la Antártida, el Océano Ártico, Groenlandia, el Norte de Canadá, el Norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de cadenas montañosas. Juega un rol muy importante en la regulación del clima global.

La nieve y el hielo tienen un alto albedo, por ello, algunas partes de la Antártida reflejan hasta un 90% de la radiación solar incidente, comparado con el promedio global que es de un 31%. Sin la criósfera, el albedo global sería considerablemente más bajo, se absorbería más energía a nivel de la superficie terrestre y consecuentemente la temperatura atmosférica sería más alta.

También tiene un rol en desconectar la atmósfera con los océanos, reduciendo la transferencia de humedad y momentum, y de esta manera, estabiliza las transferencias de energía en la atmósfera. Finalmente, su presencia afecta

marcadamente el volumen de los océanos y de los niveles globales del mar; cambios en ella, pueden afectar el balance energético del clima.

1.5.4 BIÓSFERA

La vida puede encontrarse en casi cualquier ambiente terrestre. Pero al discutir el sistema climático es conveniente considerar la biosfera como un componente discreto, al igual que la atmósfera, océanos y la criósfera.

La biosfera afecta el albedo de la Tierra, sea sobre la tierra como en los océanos. Grandes áreas de bosques continentales tienen bajo albedo comparado con regiones sin vegetación como los desiertos. El albedo de un bosque deceduo es de aproximadamente 0,15 a 0,18, donde un bosque de coníferas es entre 0,09 y 0,15. Un bosque tropical lluvioso refleja menos aún, entre 0,07 y 0,15. Como comparación, el albedo de un desierto arenoso es de cerca 0,3. Queda claro que la presencia de bosques afecta el balance energético del sistema climático.

Algunos científicos, piensan que la quema de combustibles fósiles no es tan desestabilizante como la tala de bosques y la destrucción de los ecosistemas que mantienen la producción primaria de los océanos.

La biosfera también afecta los flujos de ciertos gases invernadero, tales como el dióxido de carbono y el metano. El plancton de las superficies oceánicas utiliza el dióxido de carbono disuelto para la fotosíntesis. Esto establece un flujo del gas, con el océano, de hecho fijando gas desde la atmósfera. Al morir, el plancton, transporta el dióxido de carbono a los fondos oceánicos. Esta productividad primaria reduce en un factor de 4 la concentración atmosférica del dióxido de carbono y debilita significativamente el efecto invernadero terrestre natural.

Se estima que hasta el 80% del oxígeno producido por la fotosíntesis es resultado de la acción de las algas oceánicas, especialmente las áreas costeras. Por ello la contaminación acuática en esos sectores, podría ser muy desestabilizante.

La biosfera también afecta la cantidad de aerosoles en la atmósfera. Billones de esporas, virus, bacterias, polen y otras especies orgánicas diminutas son transportadas por los vientos y afectan la radiación solar incidente, influenciando el balance energético global. La productividad primaria oceánica produce compuestos conocidos como dimetilsulfidos, que en la atmósfera se oxidan para formar aerosoles sulfatados que sirven como núcleos de condensación para el vapor de agua, ayudando así a la formación de nubes. Las nubes a su vez, tienen un complejo efecto sobre el balance energético climático. Por lo que cualquier cambio en la productividad primaria de los océanos, puede afectar indirectamente el clima global.

1.5.5 LITÓSFERA

El quinto componente, consiste en suelos, sedimentos y rocas de las masas de tierra, corteza continental y oceánica, y en última instancia, el interior de la Tierra. Tienen un rol de influencia sobre el clima global que varía en las escalas temporales.

Variaciones en el clima global que se extienden por decenas y hasta centenas de millones de años, se deben a modulaciones interiores de la Tierra. Los cambios en la forma de las cuencas oceánicas y el tamaño de las cadenas montañosas continentales, influyen en las transferencias energéticas del sistema climático.

En escalas mucho menores de tiempo, procesos químicos y físicos afectan ciertas características de los suelos, tales como la disponibilidad de humedad, la escorrentía, y los flujos de gases invernadero y aerosoles hacia la atmósfera y los océanos. El vulcanismo, aunque es impulsado por el lento movimiento de las placas tectónicas, ocurre regularmente en escalas de tiempo mucho menores. Las erupciones volcánicas agregan dióxido de carbono a la atmósfera que ha sido removido por la biosfera y emiten además, grandes cantidades de polvo y aerosoles. Estos procesos explican someramente, como la geósfera puede afectar el sistema climático global.

1.6 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico se define como el "proceso integrante de los flujos de agua, energía y algunas sustancias químicas". En la figura 3, se resumen cualitativamente los principales elementos componentes del ciclo hidrológico.

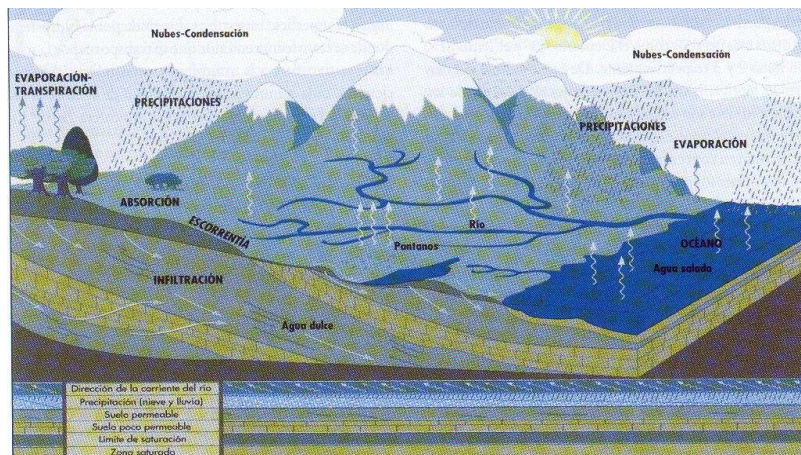


Figura 3. Ciclo hidrológico (Fuente: IDEAM)

Así, el agua cae sobre la superficie terrestre en forma de precipitación líquida o sólida (nieve, granizo, etc.). Parte de aquella puede ser evaporada antes de tocar la superficie terrestre. Aquella fracción que alcanza la vegetación es parcialmente retenida por las hojas y cobertura foliar de las plantas (intercepción). De allí, una

parte es evaporada nuevamente hacia la atmósfera o escurre y cae hacia el suelo, desde donde puede infiltrarse o escurrir por las laderas siguiendo la dirección por las mayores pendientes del terreno.

Aquella fracción que se infiltra puede seguir 3 rutas bien definidas: una parte es absorbida por la zona radicular de las plantas y llega a formar parte activa de los tejidos de las plantas o transpirada nuevamente hacia la atmósfera; puede desplazarse paralelamente a la superficie del terreno a través de la zona no saturada del terreno, como flujo subsuperficial hasta llegar a aflorar en los nacimientos o manantiales y la otra ruta es continuar infiltrándose hasta llegar a la zona saturada del terreno, donde recargará el almacenamiento de aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas, que se hallan limitadas en su parte inferior por depósitos impermeables (arcillas, formaciones rocosas, etc.) no permanecen estáticas, sino que a su vez se desplazan entre dos sitios con diferencias en sus equipotenciales.

No hay que olvidar que la evaporación es un proceso continuo cuasi-estacionario presente en todos los puntos de la cuenca, el cual va desde la evapotranspiración en la vegetación hasta aquella proveniente de la superficie del terreno, los cuerpos abiertos de agua, las corrientes principales y secundarias y las zonas no saturadas y saturadas del terreno.

Como puede verse, el ciclo hidrológico comprende una serie de interacciones continuas bastante complejas y de carácter no lineal. En conclusión, se puede definir que:

- El ciclo hidrológico es la sucesión de estados que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera: evaporación del suelo, del mar, o de superficies de aguas continentales; condensación para formar nubes, precipitación, acumulación en el suelo y en superficies de agua y reevaporación.
- El ciclo hidrológico externo es la componente del ciclo hidrológico tal que el vapor de agua evaporado de la superficie del mar se condensa bajo la forma de precipitación, la cual cae sobre los continentes.
- El ciclo hidrológico interno es la componente del ciclo hidrológico limitado a una cierta superficie continental: el vapor de agua evaporado por esta superficie se condensa bajo la forma de precipitación dentro de los límites de esta misma región. (En realidad, parte del agua evaporada no entra dentro de la circulación interna porque es arrastrada por los vientos fuera de los límites del territorio dado).

1.7 CICLO DEL CARBONO

El ciclo del carbono es un ciclo biogeoquímico donde el carbono sufre distintas transformaciones a lo largo del tiempo (ver Figura 4). Este ciclo juega un papel

importante en la regulación del clima del planeta. Este elemento se encuentra depositado en todas las esferas del sistema global en diferentes formas: en la atmósfera como dióxido de carbono, metano y otros componentes; en la hidrosfera, en forma de dióxido de carbono disuelto en el agua; en la litósfera, en las rocas y en depósitos de carbón, petróleo y gas; en la biosfera, en los carbohidratos; en la antropósfera, en diferentes formas en los objetos creados por la sociedad. El carbono circula entre la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la litosfera por medio de la interacción en escalas de tiempo que van desde procesos que demoran algunas horas, días, meses y estaciones hasta aquellos que tardan largos periodos geológicos.

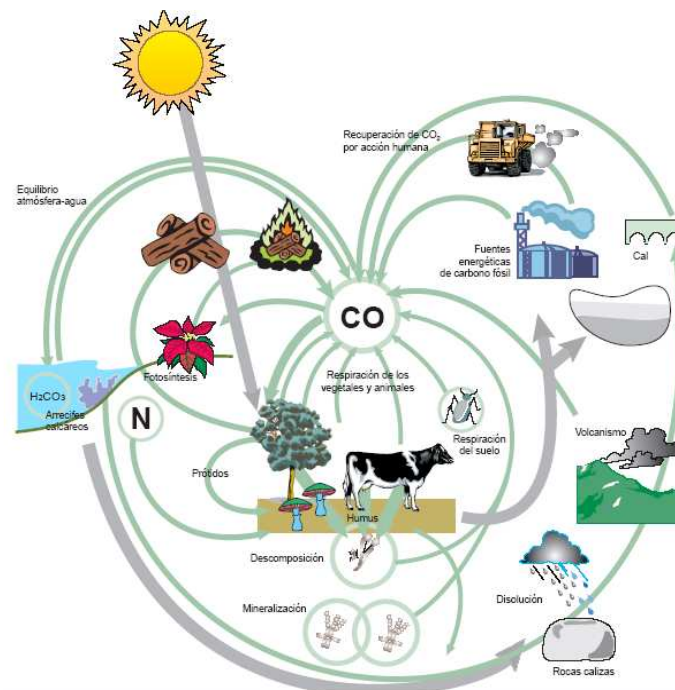


Figura 4. Esquema del ciclo del carbono. (Fuente: Duvigneaud, 1978)

Ciclo biológico: Comprende los intercambios de dióxido de carbono entre los seres vivos y la atmósfera. El carbono lo incorporan los organismos autótrofos a las cadenas alimenticias a través de procesos de síntesis, produciendo una gran cantidad de compuestos orgánicos. Mediante el proceso de la fotosíntesis el carbono de la atmósfera es absorbido por las plantas en forma de gas carbónico y en forma de ión bicarbonato por los organismos fotosintéticos acuáticos. A través de la respiración es devuelto a la atmósfera en forma de dióxido de carbono. Este ciclo es relativamente rápido, se estima que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años.

Ciclo biogeoquímico: regula la transferencia de carbono entre la atmósfera, la litosfera y la hidrosfera. Los océanos capturan en grandes áreas carbono mediante varios procesos. El dióxido de carbono atmosférico se disuelve con facilidad en el agua, en el océano se transforma en carbonato de calcio y los procesos de

respiración del fitoplancton marino lo fijan a éste, el que al descomponerse se deposita en el fondo del mar. El retorno a la atmósfera se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de las rocas que lo contienen. Este último ciclo es de larga duración, al verse implicados los mecanismos geológicos. Además, hay ocasiones en las que la materia orgánica queda sepultada sin contacto con el oxígeno que la descomponga, produciéndose así la fermentación que lo transforma en carbón, petróleo y gas natural.

Durante la historia del planeta, el ciclo del carbono ha presentado cambios en su dinámica. En la atmósfera primitiva, el dióxido de carbono tenía una concentración mayor. Actualmente, los procesos de los seres humanos están acelerando el paso de carbono desde algunos componentes del sistema climático hacia la atmósfera, aumentando los niveles del mismo, lo cual llevará a una readaptación del sistema global a las nuevas condiciones.

1.8 FACTORES FORZANTES DEL CLIMA

La atmósfera con sus componentes principales, gases traza, nubes y aerosoles es influenciada (o forzada) desde el espacio exterior y desde la superficie terrestre por distintos procesos: los factores forzantes internos y externos del sistema climático.

Los forzantes externos que se muestran en la figura 5 mediante flechas que cruzan los límites exteriores del sistema son aquellos que no están condicionados por cambios que ocurren dentro del sistema definido. Por ejemplo, las fluctuaciones en las emisiones solares y los cambios en los parámetros orbitales de la tierra con respecto al sol, son forzantes externos puesto que no son modificados si el clima de la tierra se calienta o enfría. Los gases de invernadero producidos por las actividades antropogénicas, el polvo y los cambios en el albedo de la superficie terrestre, se consideran también forzantes externos.

El clima varía en todas las escalas de tiempo, en respuesta a una serie de factores forzantes periódicos y fortuitos (aleatorios). Tal aleatoriedad es considerada para muchos como variaciones del clima y debe su existencia a la conducta compleja y caótica del sistema climático como una respuesta del forzamiento. Un esencial corolario de la existencia de procesos aleatorios es que una proporción grande de variaciones del clima no pueden ser pronosticados.

De relevancia son los factores forzantes periódicos, no solo en el entendimiento de sus mecanismos, sino también el impacto que ellos tienen en el clima global, para hacer posible el pronóstico del cambio climático futuro. Como responde el sistema climático a factores de forzamiento periódico aun no es claro.

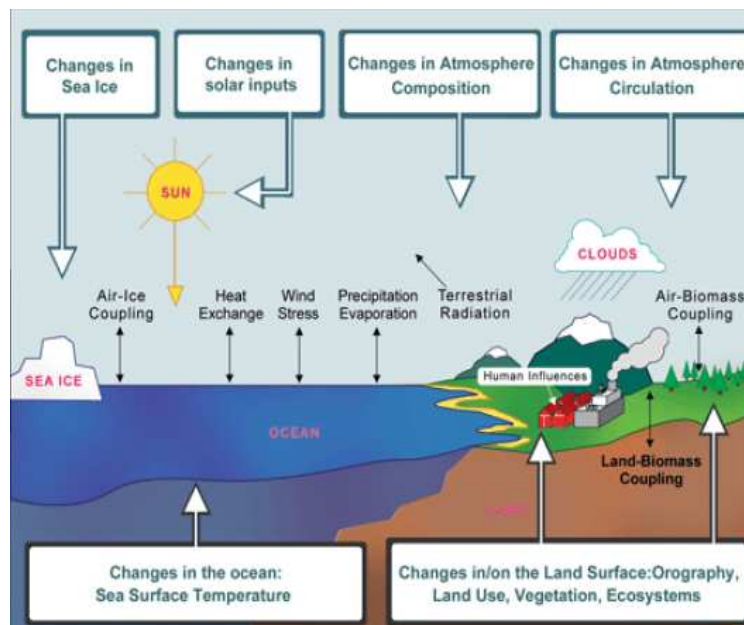


Figura 5. Ilustración esquemática del sistema climático (Nota: Letras en negrilla son los componentes del sistema climático; las flechas delgadas son ejemplos de los procesos e interacciones; las flechas gruesas son ejemplos de aspectos que pueden cambiar. (Fuente: IPCC)

Hay muchos factores de forzamiento climático que generan un enorme rango de periodicidades. El más largo, 200 a 500 millones de años, implica el pasaje de nuestro Sistema Solar a través de la galaxia y las variaciones del polvo galáctico. Otras variaciones de escala larga de tiempo (10⁶ a 10⁸ años) incluyen mecanismos de forzamiento no-radiativo, tal como la deriva continental, la orogénesis (formación de montañas) y la isostasia (movimientos verticales en la corteza de la Tierra que afectan nivel de mar). Estos mecanismos son de forzamiento interno. Cambios externos en la cantidad de radiación solar y en la órbita de la Tierra alrededor del Sol y variaciones internas en la actividad volcánica, circulación del océano y composición atmosférica ocurren sobre escalas que varían entre 1 año y 10⁵ años. Adicionalmente, hay otros numerosos mecanismos de retroalimentación interna que contribuyen al cambio climático global.

La respuesta del sistema climático a esta combinación de factores forzantes depende de los diversos tiempos de respuesta de los diferentes componentes del sistema. El conjunto de respuestas climáticas serán determinadas por las interacciones entre los componentes. La atmósfera, la nieve y el hielo superficial y la vegetación superficial típicamente responden a un forzamiento climático sobre un periodo de horas a días. El océano superficial tiene un tiempo de respuesta medida en años, en tanto que el océano profundo y los glaciares de montaña varían solo sobre periodos cuyos lapsos son de cientos de años. El avance y retroceso de grandes láminas de hielo tienen lugar sobre miles de años en contra de las partes de la geósfera (ej: desgaste de las rocas continentales por efecto del tiempo atmosférico) responden solo para periodos de forzamiento que duran de cientos de miles a millones de años.

1.8.1 FORZANTES EXTERNOS

En este grupo se consideran los mecanismos de forzamiento externo que operan sobre las escalas de tiempo de 10 años a 109 años.

1.8.1.1 Variaciones galácticas

La órbita del sistema solar sobre el centro de la Galaxia ha sido considerada como un posible mecanismo de forzamiento climático externo. Durante el curso de un año galáctico (estimado en 303 millones de años), variaciones en el medio interestelar pueden influir en la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra y así puede actuar como un mecanismo radiativo para inducir un cambio del clima. Las variaciones en el torque gravitatorio inducido por nuestras galaxias vecinas, Nube Magellanica Pequeña y Grande, pueden tener consecuencias de largo plazo en el clima de la Tierra.

Desafortunadamente, las enormes escalas de tiempo asociadas con este forzamiento hacen la confirmación de esta premisa sumamente imprecisa. No obstante, es posible que los superciclos de la edad del hielo durante los últimos 700 millones de años pudieran ser el resultado de tales mecanismos de forzamiento.

1.8.1.2 Variaciones orbitales

A mediados del siglo 19, Croll propuso una teoría astronómica relacionada con las edades de hielo y los cambios periódicos en la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Las ideas de Croll fueron refinadas por Milankovitch. La teoría de Milankovitch es el nombre dado a la teoría astronómica de variaciones del clima e identifica tres tipos de variación orbital: oblicuidad o inclinación del eje de la Tierra, la precesión de los equinoccios y excentricidad de la órbita de Tierra alrededor del Sol. Cada variación tiene su periodo de tiempo específico (ver Figura 6).

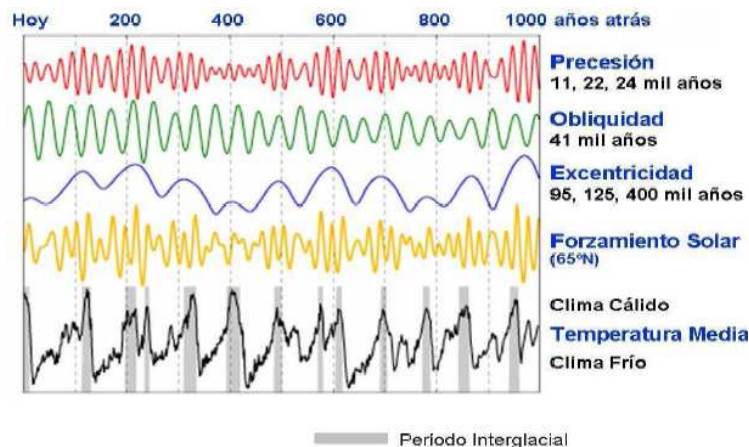


Figura 6. Ciclos de Milankovitch y clima terrestre

a. Oblicuidad. El ángulo entre el plano del Ecuador y el de la órbita de la Tierra alrededor del Sol es llamado el ángulo de Oblicuidad. Actualmente, el eje de la Tierra está desviado 23,44 grados con respecto a la vertical; esta desviación fluctúa entre 21,55 y 24,5 grados a lo largo de un periodo de 41.000 años (ver Figura 7) e influye en la distribución latitudinal de la radiación solar.



Figura 7. Cambio cíclico de la inclinación del eje de rotación terrestre

La oblicuidad no influye en la cantidad total de radiación solar recibida por la Tierra, pero afecta la distribución de insolación en el espacio y el tiempo. Al aumentar la oblicuidad, las estaciones resultan más extremas en ambos hemisferios, con veranos más cálidos e inviernos más fríos. Por consiguiente, las variaciones en la inclinación axial de la Tierra afectan el gradiente latitudinal de temperatura. Al aumentar la inclinación, ésta tiene el efecto de subida en la energía solar anual recibida en las latitudes altas, con una reducción consecuente del gradiente latitudinal de temperatura. Los cambios en oblicuidad tienen efecto pequeño en las latitudes bajas.

b. Excentricidad. Un segundo factor que acentúa las variaciones entre las estaciones es la forma de la órbita terrestre alrededor del Sol. Con un período de aproximadamente, 100.000 años, la órbita se alarga y acorta, lo que provoca que su elipse sea más excéntrica y luego retorne a una forma más circular. La excentricidad de la órbita terrestre varía desde el 0,5%, correspondiente a una órbita prácticamente circular, hasta el 6% en su máxima elongación. Cuando se alcanza la excentricidad máxima, se intensifican las estaciones en un hemisferio y se moderan en el otro. Las variaciones de excentricidad influyen en la cantidad total de la radiación solar en el tope de la atmósfera de la Tierra. Las diferencias extremas de excentricidad pueden dar lugar a variaciones de aproximadamente 30% en la radiación solar que pueden ser recibidas entre el perihelio y el afelio (ver Figura 8).

c. Precesión. El tercer factor es la precesión o bamboleo del eje de rotación de la Tierra (similar al movimiento de un trompo cuando comienza a perder fuerza), que describe una circunferencia completa, aproximadamente, cada 23.000 años. La precesión determina si el verano en un hemisferio dado cae en un punto de la órbita cercano o lejano al Sol. El resultado de esto es el refuerzo de las estaciones, cuando la máxima inclinación del eje terrestre coincide con la máxima distancia al Sol. Cuando esos dos factores tienen el mismo efecto en uno de los hemisferios, se tienen efectos contrarios entre sí en el hemisferio opuesto. (ver Figura 9).

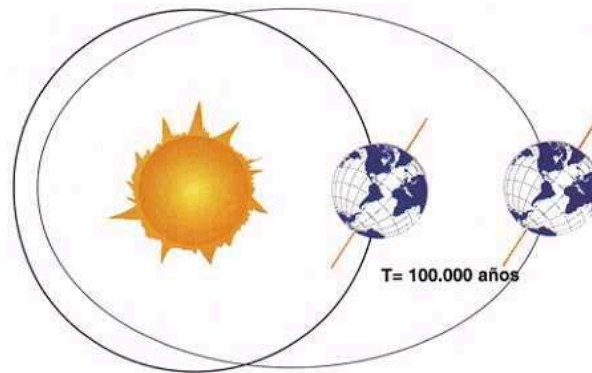


Figura 8. Cambio cíclico de la forma de la órbita terrestre

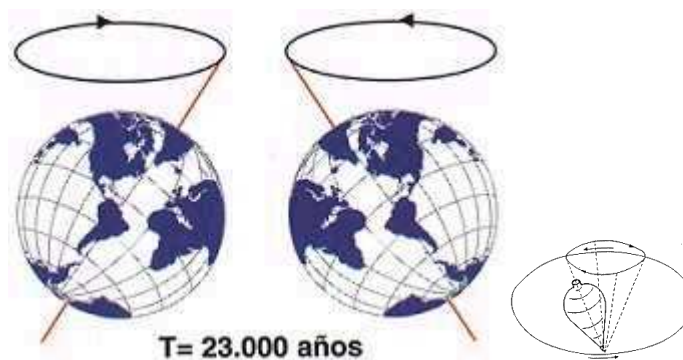


Figura 9. Movimiento de precesión del eje de rotación terrestre

1.8.1.3 Variaciones solares

Aunque la variabilidad solar ha sido considerada un factor forzante externo, sigue siendo un mecanismo polémico del cambio climático, para todas las escalas de tiempo. A pesar de muchos esfuerzos por mostrar asociaciones estadísticas entre las diferentes periodicidades solares y los ciclos del clima global, ningún mecanismo realista causal ha sido propuesto para unir los dos fenómenos.

El ciclo solar es la variación en el número de manchas solares con un periodo de 11 años (ver Figura 10). Se cree que los ciclos de las manchas solares están relacionados con las variaciones magnéticas solares y un ciclo magnético doble (de aproximadamente 22 años) también puede identificarse. Es de interés climatológico si los ciclos de las manchas solares están acompañados por variaciones en irradiancia solar que, potencialmente, podría forzar cambios climáticos. La constante solar (de aproximadamente 1368 Wm^{-2}) es una medida del flujo de energía solar total integrada para todas las longitudes de onda de radiación. Dos décadas de observaciones satelitales revelan que la constante solar varía en la escala de días hasta una década y allí parece estar la relación significativa con el ciclo de número de manchas solares, de manera que para un alto número de manchas solares el valor de la constante solar aumenta.

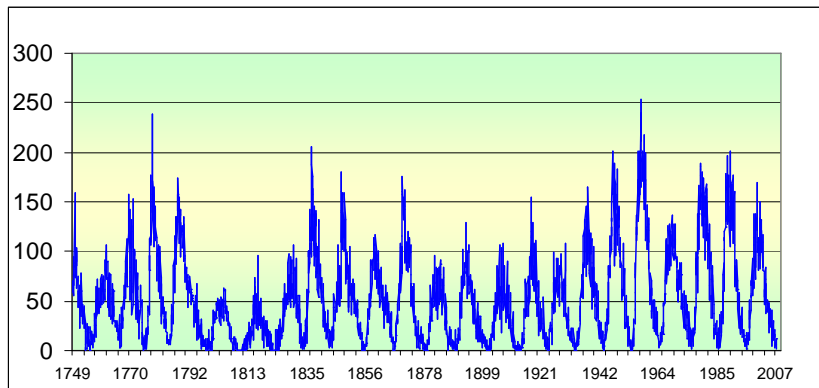


Figura 10. Número de manchas solares enero de 1749 y octubre de 2007.

La dificultad en atribuir cualquier cambio climático observado a estas variaciones en la irradiancia solar se centra en que estas variaciones son pequeñas en magnitud, un cambio mucho menor al 1% se presenta durante el curso del ciclo de la mancha solar. Pequeñas variaciones en la constante solar tienen una respuesta climática global no superior a 0.03°C en el cambio de temperatura. No obstante, muchos datos climáticos, como los índices de sequía, temperatura y ozono total atmosférico muestran, por lo menos estadísticamente, periodicidad de las mismas características de los ciclos de las manchas solares. Debe quedar claro, sin embargo, que una asociación estadística entre variabilidad solar y el cambio climático no demuestra la causa y el efecto.

Es posible identificar ciclos de 11 años en muchas series de datos climáticos causados por alguna oscilación interior desconocida y no por un forzamiento solar externo. Es concebible que, absolutamente por casualidad, la fase de la oscilación pueda coincidir con la fase de la variabilidad solar. Más verosímelmente, una oscilación interior puede estar en fase con los ciclos solares y esto puede aumentar la respuesta climática por un tipo de mecanismo de retroalimentación. Por consiguiente, de momento el eslabón entre los ciclos de las manchas solares y el cambio climático debe seguir siendo investigado.

Hay otras periodicidades solares, con escalas de tiempo más largas que podrían ser consideradas como mecanismos forzantes del clima. Sin embargo, se ha sugerido que variaciones a largo plazo en la amplitud de los ciclos de las manchas solares pueden tener una influencia en el clima global. Las observaciones revelan los mismos tiempos, aun en actividad muy limitada de las manchas solares, como en el Mínimo de Maunder (1654 a 1715) y en el Mínimo de Spörer (1450 a 1534). Estos eventos ocurrieron durante el periodo conocido como la Pequeña Edad del Hielo.

Otras variaciones solares que deberían tenerse en cuenta son la longitud de los ciclos de las manchas solares (entre aproximadamente 9 y 13 años), el cambio del diámetro solar y la tasa de cambio del diámetro solar. Aunque algunas de estas variaciones a largo plazo pueden involucrar cambios en la radiación solar entrante.

1.8.2 FORZANTES INTERNOS

Los diferentes mecanismos de forzamiento interior operan con escalas de tiempo que varían entre 1 año y 108 años. Estos pueden ser mecanismos forzantes radiativos o no radiativos.

1.8.2.1 Orogenia

La orogenia es el nombre dado al proceso tectónico de la formación de montañas y el levantamiento continental.

Las transformaciones que ocurren constantemente en la superficie terrestre son, en muchos casos, vividas por el hombre. El volcán Parícutín, en el estado de Michoacán-México, pudo ser observado desde su nacimiento, en febrero de 1943, hasta su aparente culminación, en 1952. Pero otros fenómenos que contribuyen a la modificación de la superficie de la Tierra son apreciables después de decenas, cientos, miles y millones de años. Hemos tardado mucho en entender esto. Las observaciones directas con fines científicos se comenzaron a realizar hace 200 años, pero con precisión, con el uso de instrumentos, hace apenas medio siglo.

Para poder verificar muchas hipótesis sobre la dinámica del relieve terrestre se necesita una información acumulada durante pocos miles de años; tan sólo de los últimos quince mil ya sería de mucha utilidad. Este breve retroceso en el tiempo conduce a otros paisajes: los márgenes de los glaciares actuales se encontraban en una posición más baja, cubriendo una superficie mayor de Eurasia y América; una buena cantidad de volcanes no existían, otros eran de menor altitud; las líneas de costa, aunque en general semejantes a las actuales, ocupaban una posición distinta, hacia el continente o hacia el océano.

Hoy día se sabe que los movimientos que modifican la superficie terrestre son de varios tipos: los horizontales, que incluyen los desplazamientos permanentes de los continentes y en estrecha relación, los movimientos verticales de levantamiento y hundimiento. La litosfera está dividida en seis fragmentos mayores, de tal manera que un mapamundi se asemeja a un rompecabezas, donde las piezas están en movimiento, separadas por líneas que son las zonas de mayor actividad sísmica y, en ocasiones, volcánica.

Posiblemente la presencia de cordilleras en la Tierra pueden influir el clima global dramáticamente y ese levantamiento orogénico puede actuar como un mecanismo forzante no-radiativo (interior) y conducir a cambios en la circulación atmosférica. El levantamiento de montañas también puede aumentar el área de superficie de tierra cubierta y por lo tanto generar cambios en el albedo planetario de la Tierra.

1.8.2.2 Epirogenia

Epirogenia es el término que describe los cambios en la disposición global de masas de la tierra. Como la dinámica interior de la Tierra es lenta, los continentes se mueven sobre el globo a una velocidad de varios centímetros por año. Sin embargo, en decenas o centenas de millones de años, el tamaño y posición de áreas de la tierra pueden cambiar apreciablemente.

En momentos de la historia de la Tierra, han existido supercontinentes en los cuales las placas continentales se unieron en un área del globo. El último de éstos casos ocurrió hace aproximadamente 250 millones de años y se nombra Pangea. Desde ese tiempo, los continentes se han movido separándose gradualmente, la más reciente separación ocurrió entre Europa y América del Norte, durante los últimos 60 a 70 millones de años. Lo que es ahora el Océano Pacífico, una vez fue una inmensa extensión de agua llamada Océano de Panthalassa que rodeó Pangea.

Las características físicas de la superficie terrestre, incluida la cubierta de vegetación, tienen un gran efecto sobre la absorción de energía solar y los flujos de calor, vapor de agua y momento entre la superficie y la atmósfera. En cualquier lugar determinado, estos flujos influyen considerablemente en el clima de superficie local y tienen repercusiones en la atmósfera que, en algunos casos, se amplían a todo el globo. Los cambios de los mantos de hielo y nieve, altamente reflectantes, revisten importancia particular: al calentarse el clima, disminuye la extensión de hielo y nieve, lo que ocasiona una mayor absorción de energía solar y el calentamiento consiguiente. Ahora bien, los cambios concurrentes de la nubosidad inducidos por los cambios de las cubiertas de hielo y nieve complican estas consideraciones.

En una escala temporal de decenios a siglos, los cambios de la cubierta de vegetación y las propiedades del suelo también alterarán los intercambios de calor, humedad y momento entre la superficie y la atmósfera y también las fuentes y sumideros de ciertos gases de invernadero.

1.8.2.3 Actividad volcánica

Es un ejemplo de un mecanismo de forzamiento interno. Las erupciones volcánicas, por ejemplo, inyectan grandes cantidades de polvo y dióxido de azufre, en forma gaseosa, a la atmósfera superior y la estratosfera, donde son transformados en aerosoles de ácido sulfúrico. Se considera que la contaminación volcánica en la baja atmósfera es removida por efecto de la lluvia y la gravedad, mientras que, la contaminación estratosférica puede permanecer allí durante varios años y puede extenderse para cubrir gradualmente amplias áreas del globo. La contaminación volcánica resulta en reducciones de la radiación solar directa (puede llegar a un 5 ó 10%) y generan bajas considerables de temperatura.

1.8.2.4 Circulación del océano

Los océanos desempeñan funciones importantes en el sistema climático y en el cambio climático. Primero, son uno de los principales depósitos de carbono y han tenido un papel esencial al absorber una parte del dióxido de carbono artificial emitido hasta el presente; hasta cierto punto, seguirán teniendo este papel en el futuro. Segundo, las corrientes oceánicas transportan cantidades considerables de calor, por lo que ejercen una fuerte influencia sobre los climas regionales. Los cambios de transporte de calor en el océano podrían afectar significativamente los cambios climáticos regionales y mientras el clima mundial se vuelve más templado, quizás algunas regiones sufran un enfriamiento temporal y otras, un calentamiento temporal muy por encima de la media mundial. Tercero, la absorción de calor y la mezcla descendente que efectúan los océanos aminoran considerablemente el ritmo del calentamiento de la superficie. Esto reduce los impactos que dependen de la velocidad del cambio climático. Las corrientes oceánicas y la tasa de absorción del calor por los océanos dependen de los vientos y del intercambio de calor y agua dulce (a través de la precipitación y la evaporación) entre el océano y la atmósfera. En las latitudes altas, la presencia de hielo marino tiene un efecto muy fuerte sobre esos intercambios, de allí que la simulación satisfactoria del hielo marino revista mucha importancia.

El océano actualmente ocupa la mayor parte de la superficie terrestre. Tiene una capacidad de almacenamiento mucho mayor de calor que los continentes y además su continuo movimiento permite un transporte energético desde bajas a altas latitudes, el cual tiene un gran impacto en ciertos climas regionales. Actualmente existe un transporte de aguas inter-oceánico controlado por las diferencias de salinidad entre los diferentes océanos. La causa de esta diferencia de salinidad reside en el transporte atmosférico de agua (en forma de vapor) que se produce actualmente desde el Atlántico hacia el Pacífico. Las aguas superficiales atlánticas, por tanto, son más salinas aumentando su densidad, es decir, su peso, ello hace que sean inestables en superficie y se hundan en el Atlántico Norte donde alcanzan su máxima densidad. Estas aguas, tras hundirse, viajan en profundidad cruzando todo el Atlántico, el Índico, y suben finalmente en el Pacífico Norte. Este sistema de circulación es termohalino (por estar inducido por diferencias de salinidad) constituye una cinta transportadora de calor a lo largo de todo el planeta por ello se le ha denominado "cinta transportadora" (conveyor belt) (ver Figura 11).

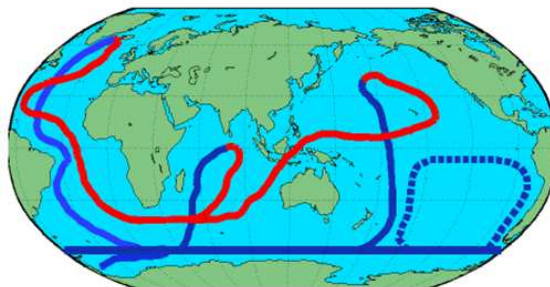


Figura 11. Circulación termohalina. Azul corrientes frías y rojo corrientes cálidas (Fuente: Broecker, 1991)

Hace 18.000 años se produjo el último máximo glacial, así se ha denominado el momento de máxima extensión de los casquetes de hielo. Un clima tan diferente al presente seguramente debió estar asociado a un sistema de circulación oceánico muy distinto también al que conocemos actualmente. El análisis de indicadores de cambios en la circulación profunda marina ha demostrado que también se dieron condiciones drásticamente diferentes a las actuales en la zona del Atlántico Norte. Todos estos datos claramente indican que el sistema de circulación termohalina actual ("cinta transportadora") durante el último máximo glacial fue mucho más débil o incluso es posible que no existiese. Este cambio oceánico tuvo que reflejarse de forma drástica en el clima de las tierras adyacentes al Atlántico Norte potenciando su enfriamiento y con ello el crecimiento de los casquetes polares.

Mediante el estudio de registros y el desarrollo de modelos de circulación se ha comprobado que esta reorganización del sistema océano-atmósfera puede darse de forma muy abrupta (en pocas décadas) y ello explica en cierta medida el carácter abrupto, no únicamente de las terminaciones, sino también de eventos como el Younger Dryas, durante el cual se ha demostrado que el paro de la circulación termohalina en el Atlántico Norte fue el desencadenante del enfriamiento producido.

Existe, por lo tanto, una poderosa conexión, no lineal, entre el balance del transporte de vapor de agua a través de la atmósfera y el transporte de sales a través del mar.

En la actualidad, en el Atlántico las aguas cálidas superficiales viajan hacia el norte, llegando a la vecindad de Groenlandia, donde el aire del ártico las enfría, se sumergen y forman una corriente que recorre el Atlántico hasta el Océano Glacial Antártico. Allí esta corriente es más cálida y por lo tanto menos densa que las frías aguas superficiales, asciende de nuevo, se enfría hasta el punto de congelación y se hunde nuevamente en el abismo. Algunas lenguas del agua antártica de fondo, las más densas del mundo, fluyen en dirección norte hasta los océanos Atlántico, pacífico e Indico, aflorando de nuevo para repetir el ciclo (ver Figura 11). En los océanos Pacífico e Indico el movimiento hacia el norte de las aguas profundas queda compensado por un movimiento hacia el sur de las superficiales.

Las aguas se sumergen en el Atlántico norte y no en el pacífico, debido a que la salinidad de sus aguas superficiales es mayor y a que el aire frío del Atlántico norte hace que el agua libere calor enfriándose desde 10 hasta 2 °C. La salinidad del agua, junto con el descenso de temperatura, le confiere una alta densidad y se hunde hasta el fondo del océano e inician un tipo global de circulación que distribuye de manera efectiva la sal en todos los océanos del mundo.

La circulación de la cinta transportadora origina un enorme transporte de calor hacia el norte (el agua que fluye en esta dirección está, en promedio, ocho veces más caliente que el agua fría que avanza hacia el sur). El agua fluye por las

profundidades del Atlántico, dobla el extremo sur del continente africano (El cabo de Buena Esperanza) y se une a la corriente abisal que rodea la Antártida.

La cinta transportadora es un mecanismo frágil y vulnerable que podría arruinarse con inyecciones de un exceso de agua dulce en el Atlántico Norte. Si el mecanismo transportador se detuviera, la temperatura del Atlántico norte y las tierras aledañas caerían bruscamente 5°C o más. Pero según modelos sobre el comportamiento del océano, la cinta transportadora tornaría a ponerse nuevamente en movimiento aunque habrían de transcurrir cientos de años y no sería necesariamente igual a la circulación actual.

Esta teoría se apoya en la teoría de los ciclos glaciales de Milankovitch, sin embargo no se presenta la forma como podrían asociarse ambas teorías. Los testigos de hielo y otros archivos sugieren que la temperatura media de toda la cuenca del Atlántico norte descendió unos siete grados en pretéritas olas de frío.

Esta teoría recibe un gran apoyo de un acontecimiento climático llamado Younger Dryas, que tuvo lugar varios miles de años después de que los glaciales iniciaran su retirada, e ilustra vivamente el lazo que hay entre el transporte de agua dulce y la circulación oceánica. Hace nos 11.000 años, la retirada de los glaciales estaba bastante avanzada y las temperaturas habían subido hasta niveles interglaciales. De repente, en solo 100 años, Europa septentrional y el norte de América regresaron a las condiciones glaciales, luego, unos mil años mas tarde, este periodo frío terminó de forma brusca, en solo 20 años. La cinta transportadora había dejado de funcionar y se había detenido la formación de aguas profundas. Una inmensa entrada de agua dulce procedente de las masas de hielo norteamericano en fusión parece haber detenido el mecanismo transportador, desencadenando con ello el Younger Dryas. La capa de hielo comenzó a retirarse hace 14.000 años, al principio casi toda el agua fundida de la inmensa capa de hielo fluyó Misissippi abajo hacia el golfo de México. No obstante, hace 11.000 años, algún acontecimiento provocó que gran parte del agua de fusión se desviara por el río San Lorenzo hacia el Atlántico norte, desembocando en las cercanías del lugar de formación de las aguas profundas. Allí redujo la salinidad de las aguas superficiales y su densidad, en tal cantidad que pese al fuerte enfriamiento invernal, no podían hundirse en el abismo. La cinta transportadora permaneció fuera de servicio hasta 1.000 años mas tarde, cuando un enorme lóbulo de hielo avanzó y cerro de nuevo la salida hacia el río San Lorenzo; el agua de fusión volvió a verter hacia el río Mississippi, la cinta transportadora oceánica se reactivó y Europa se calentó de nuevo.

La cinta transportadora del Atlántico Norte es posible que por si sola no esa suficiente para iniciar un cambio global de temperatura y el desarrollo de laminas de hielo. Otros mecanismos de la retroalimentación interiores necesitarían ser invocados, por ejemplo los cambios en la concentración de gases del invernadero y la carga de aerosoles, junto con la reducción del transporte de calor de océano y aumento de la alcalinidad del océano.

1.8.2.5 Variaciones en la Composición Atmosférica

El cambio de composición de gases, especialmente los [Gases de Efecto Invernadero](#) (GEI), es uno de los más grandes mecanismos de fuerza internos.

Cambios naturales en el contenido de dióxido de carbono atmosférico, ocurrieron durante las transiciones glaciales - interglaciales, como respuesta a mecanismos de fuerzas orbitales. En la actualidad, la humanidad es el factor más sustancial de cambio.

La humanidad está alterando la concentración de los GEI y los aerosoles, que influyen en el clima y a la vez, son influidos por éste. Los GEI reducen la pérdida neta de radiación infrarroja hacia el espacio y tienen poco impacto en la absorción de la radiación solar, lo que hace que la temperatura de la superficie sea más cálida y produce el denominado “efecto invernadero”. Los aerosoles revisten gran importancia por su impacto sobre la radiación solar y tienen casi siempre un efecto de enfriamiento.

Ciertos GEI surgen naturalmente, pero están influenciados directa o indirectamente por las actividades humanas, mientras que otros son totalmente antropogénicos. Los principales gases que surgen naturalmente son: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Los principales grupos de GEI completamente antropogénicos son: clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (a los que se denomina colectivamente halocarbonos), y las especies totalmente fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF_6).

El vapor de agua es el mayor contribuyente al efecto invernadero natural y es el que está más directamente vinculado al clima y, por consiguiente, menos directamente controlado por la actividad humana. Esto es así porque la evaporación depende fuertemente de la temperatura de la superficie, y porque el vapor de agua atraviesa la atmósfera en ciclos muy rápidos, de una duración por término medio de uno cada ocho días. Por el contrario, las concentraciones de los demás GEI están sujetas a la influencia fuerte y directa de las emisiones asociadas con la quema de combustibles fósiles, algunas actividades forestales y la mayoría de las agrícolas, y la producción y el empleo de diversas sustancias químicas.

Excepto el ozono, todos los GEI directamente influenciados por las emisiones humanas están bien mezclados en la atmósfera, de forma que su concentración es casi la misma en cualquier parte y es independiente del lugar donde se produce. El ozono también difiere de los demás GEI porque no se emite directamente hacia la atmósfera, sino que es fabricado por reacciones fotoquímicas en las que participan otras sustancias, denominadas “precursores”, que sí se emiten directamente. En lo que respecta a los procesos de eliminación, todos los GEI, excepto el dióxido de carbono, se eliminan en buena parte a través de reacciones químicas o fotoquímicas

dentro de la atmósfera. De modo diferente, el dióxido de carbono efectúa ciclos continuos entre varios “reservorios” o depósitos de almacenamiento temporales (atmósfera, plantas terrestres, suelos, aguas y sedimentos de los océanos). Las fuentes de los GEI naturales y sus procesos de eliminación están influenciados por el clima.

Los aerosoles son partículas diminutas en suspensión en el aire, que influyen sobre el clima sobre todo porque reflejan hacia el espacio una parte de la radiación solar incidente (efecto directo), y regulan, hasta cierto punto, la cantidad y las propiedades ópticas de las nubes (efecto indirecto). Los aerosoles también absorben una cierta cantidad de radiación infrarroja. Se producen natural y artificialmente; entre los naturales se encuentran la sal marina, el polvo y las partículas volcánicas, mientras que los artificiales resultan de la quema de biomasa y combustibles fósiles, entre otras fuentes. Algunos aerosoles, como el polvo, se emiten directamente hacia la atmósfera. Pero la mayoría no se emiten directamente sino que, como el ozono troposférico, se fabrican a partir de la transformación química de los precursores. Todos los gases troposféricos tienen un tiempo de vida corto en la atmósfera debido a que la lluvia los elimina rápidamente. Por ello y porque la intensidad de las fuentes de emisión cambia considerablemente de una región a otra, la cantidad de aerosoles en la atmósfera varía mucho entre las regiones.

1.9 RETROALIMENTACIÓN

La retroalimentación es un proceso por el que un cambio inicial de cierta variable (“A”) conduce a un cambio en otra variable (“B”) que, a su vez, produce otros cambios en la variable inicial.

Se dice que la retroalimentación es positiva cuando el cambio de B produce otros cambios en A con la misma dirección que la del cambio inicial, lo que tiende a amplificarlo. Por su parte, la acción de la retroalimentación negativa reduce el cambio inicial.

Entre las retroalimentaciones que hay que incluir en el cálculo del cambio climático medio mundial figuran:

- a) *Cantidad de vapor de agua*: al hacerse el clima más cálido, aumenta la concentración de vapor de agua. Puesto que el vapor de agua es un GEI, esto representa una retroalimentación positiva.
- b) *Nubes*: los cambios nubosos resultan difíciles de calcular con fiabilidad. Las nubes tienen un fuerte efecto radiativo, por lo que es probable que causen una retroalimentación apreciable. Dicha retroalimentación depende de los cambios de cantidad, altitud y características de las nubes, y también de la reflectividad de la superficie subyacente, de manera que no se conoce con certeza el signo de la retroalimentación.

c) *Cubiertas de hielo y nieve*: a medida que se calienta el clima, se reducen las zonas de hielo marino y de nieve estacional sobre tierra, lo que hace disminuir la reflectividad de la superficie y tiende a producir un calentamiento más acusado (retroalimentación positiva).

d) *Vegetación*: los cambios de distribución de biomas diferentes o del tipo de vegetación dentro de un bioma determinado, también pueden ocasionar cambios de la reflectividad de la superficie, que ejercen un efecto de retroalimentación sobre el cambio climático.

e) *Ciclo del carbono*: es posible que el efecto del clima sobre la biosfera terrestre y los océanos altere las fuentes y sumideros de CO₂ y CH₄ y ocasione cambios de sus concentraciones en la atmósfera, lo que originará un forzamiento radiativo.

De estas retroalimentaciones, aquellas en las que intervienen el vapor de agua y las nubes responden fundamentalmente de manera instantánea al cambio climático, mientras que las que conciernen a la nieve y el hielo marino responden a escasos años. Por consiguiente, se las califica de "rápidas". Algunos procesos de la vegetación y del ciclo del carbono son significativos a una escala temporal de decenios, mientras que otros, no mencionados más arriba, como la reducción de las capas de hielo continentales, la disolución de los sedimentos de carbonato en el océano, y la intensificación del envejecimiento climático sobre la tierra (los dos últimos tienden a reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera), necesitan cientos a miles de años para desarrollarse. A estas retroalimentaciones se las califica de "lentas".

1.10 SENSIBILIDAD CLIMÁTICA

La expresión "sensibilidad climática" se refiere al aumento constante de la temperatura media mundial anual del aire en la superficie asociado con un determinado forzamiento radiativo medio mundial. En su cálculo es habitual incluir sólo los procesos de retroalimentación rápida, incluidos los cambios de vapor de agua y excluir los posibles cambios inducidos en las concentraciones de otros gases de invernadero (y también otros procesos de retroalimentación lenta).

Como se señala más arriba, la temperatura de la Tierra realiza un ajuste por sí misma, de forma que la radiación solar absorbida y la radiación infrarroja emitida están en equilibrio. Cuando hay un exceso de energía solar, la temperatura tiende a aumentar, lo que incrementa la emisión de radiación infrarroja al espacio. Cuanto más fuerte sea el aumento de la emisión infrarroja al espacio con la temperatura (es decir, cuanto más fuerte sea el amortiguamiento radiativo), tanto menor será el aumento de temperatura necesario para restablecer el balance de energía neto cero y la sensibilidad climática. Los cambios de albedo (reflectividad) del sistema atmósfera-superficie también contribuyen (positiva o negativamente) al amortiguamiento radiativo. Las retroalimentaciones rápidas afectan la sensibilidad climática, puesto que inciden en la facilidad con que se devuelve el exceso de calor al espacio; dicho de otra forma, alteran el amortiguamiento radiativo.

2. EFEECTO INVERNADERO

2.1 EFECTO INVERNADERO NATURAL

La absorción de energía por un determinado gas tiene lugar cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular del gas. Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura.

La atmósfera es un fluido constituido por diferentes tipos de gases y cada uno de ellos se comporta de manera diferente, de manera tal, que la energía absorbida la efectúan selectivamente para diferentes longitudes de onda y en algunos casos son transparentes para ciertos rangos del espectro. La atmósfera principalmente tiene bajo poder de absorción o es transparente en la parte visible del espectro, pero tiene un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta procedente del sol y el principal responsable de este fenómeno es el ozono, así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra y los responsables en este caso son el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases traza como el metano y el óxido nitroso.

Los gases que son buenos absorbedores de radiación solar son importantes en el calentamiento de la atmósfera, por ejemplo, la absorción de [radiación solar](#) por el [ozono](#) proporciona la energía que calienta la estratosfera y la mesosfera.

La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera. Esta absorción por los gases traza, calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga. Parte de esta radiación es liberada al espacio y otra parte es irradiada nuevamente a la superficie de la Tierra (ver Figura 12). Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son directamente devueltas a la superficie, suministrando una fuente de energía adicional a la radiación solar directa. El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene más energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la Tierra no tuviera atmósfera, consecuentemente, la temperatura es más alta, del orden de 33°C más. Este proceso es conocido como el **efecto de invernadero natural**. Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie sería aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta no sería posible.

Consecuentemente, los gases en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja procedente de la Tierra o radiación saliente, son conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre ellos se encuentran el dióxido de carbono, el vapor de agua, el óxido nitroso, el metano y el ozono. Estos gases tienen moléculas cuya frecuencia vibracional se localiza en la parte infrarroja del espectro.



Fuente: UNEP –GRID-Arendal.

Figura 12. Representación gráfica del Efecto invernadero natural

2.2 FORZAMIENTO DEL EFECTO INVERNADERO

Algunos gases emitidos por actividades humanas (denominados Gases de Efecto Invernadero - GEI) como el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano, algunos halocarbonos (como los CFCs, HCFCs, HFCs y los PFCs), así como el ozono troposférico (el cual se forma a partir de el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y otros compuestos orgánicos volátiles), son buenos absorbentes de la radiación infrarroja y específicamente los halocarbonos porque muchos de ellos absorben energía en la región de longitudes de onda donde la energía no es absorbida por el dióxido de carbono ni el vapor de agua (región denominada como ventana atmosférica).

Cambios en la concentración atmosférica de los GEI y aerosoles, en la radiación solar y en las propiedades superficiales del suelo afectan la absorción, dispersión y emisión de la radiación dentro de la atmósfera y en la superficie de la tierra. Los resultados positivos o negativos en el balance energético debido a estos factores son expresados como forzamiento radiativo, el cual es usado para comparar la influencia del calentamiento o el enfriamiento sobre el sistema climático.

El forzamiento radiativo es una medida de la influencia que tiene la alteración del balance entre la radiación solar incidente y la radiación infrarroja saliente en el sistema atmósfera – Tierra, denotado por un cambio en la irradiancia neta en la tropopausa y es expresado en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Generalmente los valores del forzamiento radiativo son para cambios relativos a las condiciones definidas en 1970. Estas perturbaciones se deben a cambios internos o forzamientos externos del sistema climático, como por ejemplo, cambios en la concentración de un

GEI o en la radiación emitida por el sol. Un forzamiento radiativo positivo tiende a calentar la troposfera (capa de la atmósfera desde la superficie hasta cerca de 16km de altura) y uno negativo tiende a enfriarla. El agotamiento de la capa de ozono debido a su destrucción por el incremento en las emisiones de halocarbonos desde 1970, ha representado un forzamiento radiativo negativo del sistema climático, ya que, el ozono es un GEI. Por otro lado, el incremento de los GEI ha producido un forzamiento positivo. Se estima que el efecto neto promedio a nivel global de las actividades humanas desde 1750 ha sido un calentamiento con un forzamiento radiativo de $1,6 \text{ W/m}^2$.

El forzamiento radiativo de los GEI y el ozono se presenta en la figura 13 y en la tabla 1 y su magnitud está dada por el producto de su concentración y su eficiencia radiativa (energía absorbida por unidad de concentración $\text{W/m}^2 \cdot \text{ppb}$). El CO_2 es el que más ha contribuido al forzamiento radiativo positivo con $1,66 \text{ W/m}^2$, seguido por el CH_4 con $0,48 \text{ W/m}^2$, el ozono troposférico con $0,35 \text{ W/m}^2$, el N_2O con $0,16 \text{ W/m}^2$ y algunos halocarbonos. El forzamiento radiativo del CO_2 se ha incrementado en un 20% durante los últimos 10 años (1995-2005), siendo el cambio más grande observado o inferido para una década en los últimos 200 años.

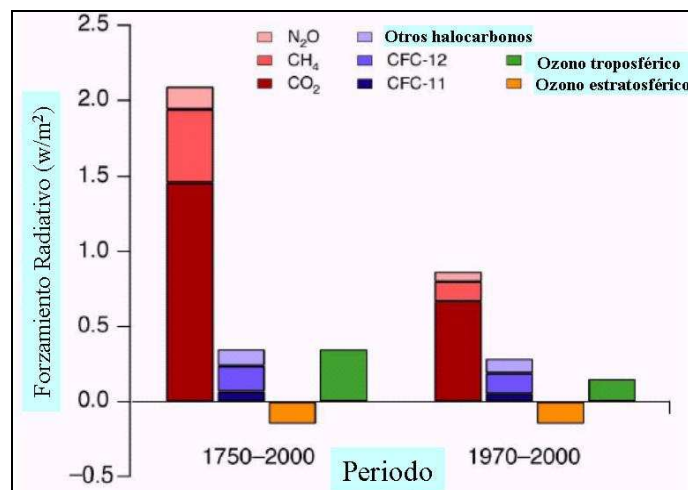


Figura 13. Cambios en el forzamiento radiativo en W/m^2 de varios GEI con concentraciones uniformes y del ozono en dos periodos de tiempo 1750-2000 y 1970-2000. (Fuente: IPCC, 2004).

Otros agentes que contribuyen al forzamiento radiativo son los cambios en los aerosoles troposféricos, cambios en el albedo superficial y en la radiación emitida por el sol. Respecto a este último ítem, se estima que los cambios en la radiación solar desde 1750 han generado un forzamiento radiativo de $0,12 \text{ W/m}^2$.

Los aerosoles de origen antropogénico (principalmente sulfatados, carbón orgánico, carbón negro, nitratos y polvo) producen un forzamiento radiativo directo de $-0,5 \text{ W/m}^2$ y un forzamiento de albedo indirecto de nube de $-0,7 \text{ W/m}^2$. Los aerosoles tienen influencia en el tiempo de vida de las nubes y en la precipitación.

Tabla 1. Contribuciones al forzamiento radiativo positivo de algunos GEI

Gas	Vida media atmosférica (años)	Forzamiento radiativo (W/m ²) 1750-2005	Forzamiento radiativo (W/m ²) 1970-2000	Potencial de Calentamiento a 100 años ²
CO ₂	----- ¹	1,66	0,67	1
Metano	12	0,48	0,13	23
Óxido Nitroso		0,16	0,068	296
CFC-11	45	0,066	0,053	4600
CFC-12	100	0,172	0,137	10600
CFC-113 (CCl ₂ FCClF ₂)	85	0,03	0,023	6000
HCFC-22	12	0,0286	0,026	1700
HCFC-141b	9,3	0,0018	0,0018	700
HCFC-142b	17,9	0,0024	0,0024	2400
HFC-23	270	0,0029	0,0029	12000
HFC-134a	14	0,004	0,004	1300
HFC-152a	1,4	0,0002	0,0002	140
PFC-14	50000	0,0061	0,0061	5820
PFC-116	10000	0,0006	0,0006	12010
PFC-218	2600	0,0001	0,0001	8690
Pentano	0,010	-	-	
Etano	0,214	-	-	

¹ La eliminación del CO₂ de la atmósfera está relacionada a diferentes procesos y su tasa no se pueden expresar con un valor de vida media. (Fuente: IPCC, 2004).

² Valores reportados en el Tercer Reporte de Evaluación del IPCC (2001)

Los cambios en el albedo superficial debido a los cambios en la cobertura del suelo y a la deposición de aerosoles negros de carbón sobre la nieve ejercen forzamientos de $-0,2 \text{ W/m}^2$ y $+0,1 \text{ W/m}^2$ respectivamente.

Entre los compuestos halogenados, los CFCs han contribuido al forzamiento radiativo positivo desde el año 1750 con $0,28 \text{ W/m}^2$, mientras que los HCFCs con $0,033 \text{ W/m}^2$ y los HFCs con $0,007 \text{ W/m}^2$. Los incrementos en las concentraciones de los gases halocarbonados entre el año 1970 y el 2000 han contribuido con cerca del 30% del incremento del forzamiento radiativo relacionado a los GEI durante este periodo.

Las moléculas de halocarbonos pueden ser miles de veces más eficientes como absorbentes de energía emitida por la tierra que una molécula de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de estos gases pueden contribuir apreciablemente al forzamiento radiativo del sistema climático.

El efecto radiativo del CO₂ y el vapor de agua es calentar el clima superficial y enfriar la estratosfera, mientras que el efecto radiativo de los halocarbonos es calentar la troposfera y la estratosfera debido a su absorción en la ventana atmosférica.

En la tabla 1 se observa para varios gases el potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en ingles: Global Warming Potentials), el cual es un indicador del efecto radiativo de una sustancia sobre un horizonte de tiempo escogido, teniendo como base al dióxido de carbono. El GWP es más alto para las especies que absorben mayor radiación o tienen grandes tiempos de vida media. El horizonte de tiempo escogido generalmente es de 100 años, queriendo representar el futuro impacto de la sustancia en los próximos 100 años.

En la tabla 1 se observa, que de los GEI directos, el que tiene mayor GWP es el óxido nitroso, mientras que entre los compuestos halogenados los gases que tienen mayores GWP son los PFCs, seguidos por los CFCs, los HCFCs y los HFCs (excepto el HFC-23 que tiene un GWP muy alto).

2.3 CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo a la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente **a la actividad humana** que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la **variabilidad natural o como resultado de actividades humanas**.

Desde el punto de vista meteorológico, se llama Cambio Climático, a la alteración de las condiciones predominantes. Los procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra (la excentricidad, la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica, son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Procesos internos del sistema climático también pueden producir cambios de suficiente magnitud y variabilidad a través de interacciones entre sus elementos.

El clima de la Tierra depende del equilibrio radiativo de la atmósfera, el cual depende a su vez de la cantidad de la *radiación solar* que ingresa al sistema y de la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un *efecto invernadero natural* (gases traza con actividad radiativa, nubes y aerosoles). Estos agentes de *forzamiento radiativo* varían tanto de forma natural como por la actividad humana, produciendo alteraciones en el clima del planeta (ver Figura 14).

Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (esta es la radiación infrarroja, la cual, es eminentemente térmica) que provienen del sol y la que refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio, controlando el flujo de energía natural a través del sistema climático. El clima debe de algún modo

ajustarse a los incrementos en las concentraciones de los GEI, que genera un aumento de la radiación infrarroja que es absorbida por los GEI en la capa inferior de la atmósfera (la troposfera), en orden a mantener el balance energético de la misma. Este ajuste generará un cambio climático que se manifestará en un aumento de la temperatura global (referido como calentamiento global) que generará un aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como tormentas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña), y se presentará una variedad de impactos sobre diferentes componentes, tales como la agricultura, los recursos hídricos, los ecosistemas, la salud humana, entre otros.

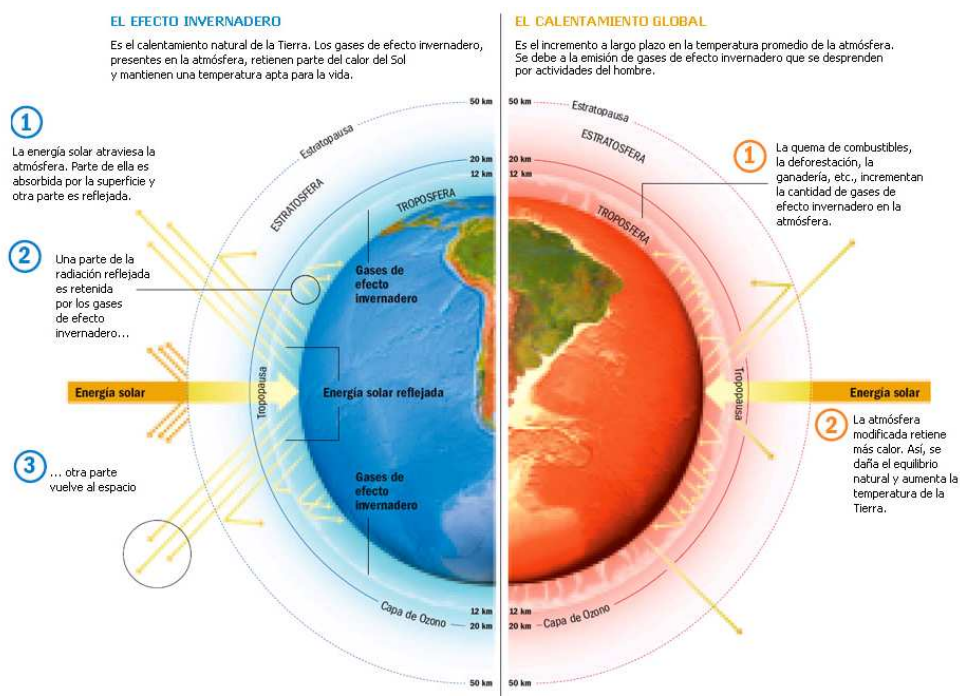


Figura 14. Efecto invernadero natural y su forzamiento, lo que induce al calentamiento global (aumento de la temperatura superficial promedio a nivel global). Fuente: <http://cambioclimaticoyuscausas.iespana.es/>

El cambio climático es, en parte, producto del incremento de las emisiones de GEI. No obstante existe una diferencia entre variabilidad climática (ejm. el fenómeno del Niño) y cambio climático. La variabilidad climática se presenta cuando con cierta frecuencia un fenómeno genera un comportamiento anormal del clima, pero es un fenómeno temporal y transitorio. El cambio climático, por otra parte, denota un proceso que no es temporal y que puede verificarse en el tiempo revisando datos climáticos (ejm. la temperatura).

Un enfoque integrado del cambio climático tiene en cuenta la dinámica del ciclo completo de causas y efectos interrelacionados en todos los sectores afectados. En el siguiente esquema se presenta un marco de evaluación integrado para la consideración de los cambios climáticos antropogénicos según se reporta en el TAR (Tercer Reporte de Evaluación del IPCC). Las flechas amarillas muestran el ciclo de causa a efecto entre los cuatro cuadrantes y la flecha azul indica la respuesta de la sociedad ante los impactos del cambio climático.

La adopción de decisiones sobre el cambio climático es esencialmente un proceso secuencial que se desarrolla en condiciones de incertidumbre general.

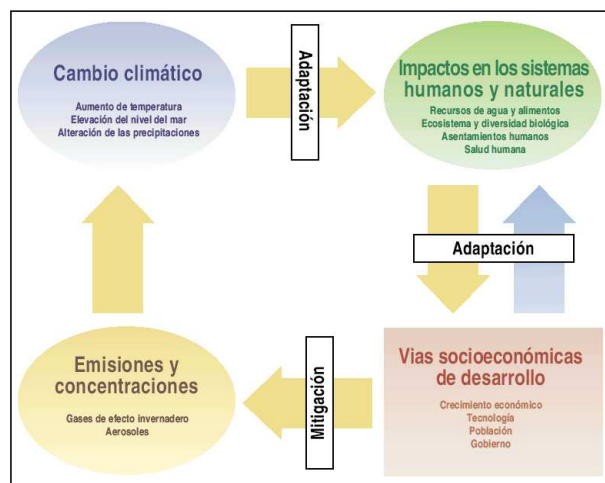


Figura 15. Enfoque integrado del cambio climático. Fuente: IPCC. Tercer Reporte de Evaluación, 2001.

2.4 CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global se puede entender en forma simplificada como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de Efecto Invernadero - GEI) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales. (Una capa “más gruesa” de gases de efecto invernadero retiene más los rayos infrarrojos y hace elevar la temperatura).

Por otro lado, es un término utilizado habitualmente en dos sentidos: Es el fenómeno observado que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. También es una teoría que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas. La opinión científica mayoritaria sobre el cambio del clima dice que “la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 100 años, es atribuible a la actividad humana”. Las simulaciones parecen indicar que la principal causa del componente de calor inducido por los humanos se debería al aumento de dióxido de carbono. La temperatura del planeta ha venido elevándose desde finales del siglo XIX, cuando se puso fin a la etapa conocida como la pequeña edad de hielo. Calentamiento global y efecto invernadero no son sinónimos. El efecto invernadero acrecentado por la contaminación, puede ser, según las teorías, la causa del calentamiento global observado.

2.5 CAMBIO GLOBAL

Se puede definir como los cambios generados por los procesos naturales y por la actividad humana que afectan el medio ambiente global en forma directa o a través de la acumulación de alteraciones locales o regionales. Las escalas espacio-

temporales de los procesos que conllevan al cambio global son variadas: algunos, como la deforestación son a escala regional y puede ser medida en días, otros, como el calentamiento global y el cambio climático cubren todo el planeta y se manifiestan en períodos que van desde el decenio hasta milenios.

2.6 OSCURECIMIENTO GLOBAL² (Un problema ecológico desconocido hasta ahora, pero que puede ser tan grave como el calentamiento global)

Es un hecho: la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, se ha reducido gradual y globalmente, hasta un 10%, debido a la contaminación atmosférica, con consecuencias imprevisibles para la Tierra. A este fenómeno se le ha denominado **Oscurecimiento Global**. Es un fenómeno real que, a pesar de haber sido claramente observado y estudiado desde hace dos décadas, es muy poco conocido por el público, los gobiernos e incluso por la propia comunidad científica.

La combustión de fuentes de energía fósiles, como el carbón y el petróleo, no sólo genera dióxido de carbono y demás gases de efecto invernadero, sino que además libera a la atmósfera pequeñas partículas de ceniza, hollín y compuestos de azufre que reflejan la luz solar al espacio, disminuyéndola en su viaje al alcanzar la superficie terrestre, provocando lo que se conoce como «efecto espejo» y causando un efecto de enfriamiento.

Esta contaminación atmosférica ha reducido en un 10%, durante los últimos 50 años, la radiación solar incidente terrestre, afectando directamente a la fotosíntesis, al comportamiento, formación y composición de las nubes e implícitamente potenciando las sequías, y lo más grave de todo: su efecto de enfriamiento ha contrarrestado el calentamiento global, encubriéndolo, lo cual nos ha llevado a subestimar e infravalorar el impacto del efecto invernadero y los verdaderos alcances del calentamiento global en general.

Pero, este fenómeno aún es motivo de debate porque muchos consideran que solo se trataría de un problema localizado en algunas zonas contaminadas. De ser así, eso no significaría una alteración de la temperatura de todo el planeta, sino solamente en aquellas zonas afectadas por el oscurecimiento (Revista Portafolio 17-julio -2007).

Los diversos antecedentes que se describen a continuación, muestran cómo las conclusiones de distintos científicos en distintas partes del mundo, con métodos completamente diferentes de medición y sin conocerse entre sí, han llegado a la misma conclusión.

El climatólogo japonés Atsumu Ohmura fue el primero en intuir el oscurecimiento global en 1989, basándose en la radiación solar y el balance energético de la tierra.

² Tomado de la revista natural (www.revistanatural.com). Fecha del artículo 30/5/2006

Formó un grupo de investigadores del clima global, y los resultados fueron en parte la base de un informe que reveló a finales de los años 80, la existencia de una disminución considerable de la luz solar que alcanza la superficie del planeta con respecto al nivel de 1960, y a raíz de ello, algunos científicos se dieron a la tarea de encontrar las posibles causas.

Las observaciones de Gerry Stanhill en 1992, especialista de regadíos en Israel, han sido contundentes: observó el fenómeno partiendo de una reducción significativa de la tasa de evaporación en un tanque, es decir, la cantidad de agua que se evapora de un tanque expuesto al sol disminuyó progresivamente. Contrariamente a lo que se pudiera esperar debido al calentamiento global, ya que **la evaporación del agua no depende de que las temperaturas se hayan incrementado en el planeta ni de la humedad, sino que depende de la radiación solar directa que recibe, porque son los fotones de la luz, que al impactar sobre la superficie del agua, aportan la energía suficiente para que éstos se desprendan del resto de moléculas a las que se encuentran enlazados por los puentes de hidrógeno.** Por lo tanto, la única explicación posible a dichas mediciones, es que cada vez recibimos menos radiación solar.

La misma tendencia fue observada y corroborada por agricultores y meteorólogos de todo el mundo, si bien con variaciones en cada zona, la reducción de evaporación era clara y progresiva.

Otros estudios reforzarían aún más dichas conclusiones, por vías completamente distintas. Experimentos realizados en el archipiélago de las Maldivas, comparando la atmósfera de las islas situadas en el norte con las del sur, mostraron que los efectos contaminantes de la atmósfera de aquel entonces, provenientes del norte desde la India, producían aproximadamente una reducción del 10% de la luz solar que alcanzaba la superficie en la zona bajo la nube contaminada (lo que supone una reducción bastante mayor a la esperada por la sola presencia de las partículas contaminantes). Antes de emprender dichas investigaciones, las predicciones apuntaban a que los aerosoles antrópicos (las partículas suspendidas contaminantes) sólo contribuían entre un 0,5% y un 1% al efecto. La enorme variación observada contra la predicción se explica porque en la formación de nubes contaminadas las partículas actúan como núcleos de condensación de un número mayor de gotas aunque de menor tamaño, creando nuevas nubes, que son más eficaces reflejando la luz de vuelta al espacio.

Por otro lado, un grupo dirigido por Martin Wild en el instituto Federal de Tecnología Suizo en Zurich, sede del archivo de la BSRN (Baseline Surface Radiation Network), comenzaron una investigación mediante un sondeo de mediciones y cálculos conducidos por el Programa de Mediciones de la Radiación Atmosférica, que ha sido crucial, ya que revela que la superficie del planeta ha aumentado su luminosidad en un 4% durante la pasada década. Esta tendencia alcista del brillo planetario está corroborada por diversos datos, incluyendo varios análisis por satélite. Lo cual viene a corroborar que la contaminación de las partículas suspendidas en las nubes hacen

que éstas reflejen mucha más luz solar que las nubes limpias devolviéndola al espacio, aumentando el brillo planetario.

Años después, se realizaron otras investigaciones en un suceso puntual muy esclarecedor que vendría a demostrar lo que se esperaba...

En los 3 días posteriores a los atentados de las torres gemelas del 11 de septiembre, al cerrarse el espacio aéreo estadounidense, se incrementó la temperatura media considerablemente en 1,2 grados centígrados en todo el país, (algo que no se observaba desde hacía décadas) al disminuir las estelas de humo altamente contaminante de los reactores que dejan los aviones y que forman las nubes reflectantes –por tratarse de un residuo de la combustión de un hidrocarburo, o sea de un combustible fósil–.

Recientemente en el congreso anual de la Unión Geofísica Americana en Montreal, una parte de la comunidad científica por primera vez ha puesto al descubierto la gravedad del asunto de manera oficial y mundial, mostrando su seria preocupación, pues apenas ahora se está tomando conciencia de que el oscurecimiento global es una terrible realidad.

El oscurecimiento global, más que probablemente, puede haber causado cambios a gran escala en los patrones climáticos, ya que su impacto es diverso. **Al haber menos radiación solar, hay menos evaporación del agua y menos formación de nubes, y por consiguiente menos precipitaciones, agravando más a las zonas áridas** ya de por sí afectadas por el calentamiento global y para que éstas produzcan las cosechas deseadas requieren de más energía, que contamina aún más, y esta energía es menos disponible por la disminución en el nivel de las represas, cerrando el círculo vicioso.

El oscurecimiento global está afectando al ciclo del agua y en general al comportamiento de las nubes. Los modelos climáticos sugieren que estos cambios han intervenido en la falta de monzones en el África subsahariana durante las décadas de los 70`s y los 80`s que provocaron las graves crisis y hambrunas múltiples. En su momento se culpó a la tala inmoderada de árboles y la mala gestión de tierras, hoy se sabe y se considera una pequeña muestra de lo que puede ser el oscurecimiento global.

La composición de la atmósfera y de las nubes está cambiando, convirtiéndose en un espejo reflectante que reduce el paso de la luz solar, afectando también a la fotosíntesis de toda la vegetación planetaria ya que el fenómeno es global. De manera que hemos puesto en jaque al ecosistema del planeta, mientras que el calentamiento global provoca más lluvias en las zonas húmedas, y más sequía en las áridas, el oscurecimiento global provoca menos precipitaciones, reforzando aún más las sequías lo cual es muy grave para las zonas áridas. Y por otro lado enfría, lo que de momento nos ha ayudado a que el calentamiento global sólo nos muestre una máscara amable. Pero si dejamos de arrojar la contaminación que le quita

transparencia a la atmósfera, liberamos la cara feroz y real del calentamiento global, las medidas impuestas en los últimos años en la Unión Europea han ayudado a disminuir las emisiones de partículas en industrias y automóviles, si bien han mejorado la calidad del aire, desgraciadamente el calentamiento global ha dejado los veranos más calurosos, especialmente el del 2003 con cifras récord de mortandad en Francia, incendios en toda la península ibérica particularmente en Portugal de norte a sur, importantísimas sequías en España e inundaciones récord en varios países de la Unión.

Políticamente podremos estar divididos, pero ecológicamente estamos entretejidos, la naturaleza no entiende de divisiones y se comporta como un todo. Lo que una zona contamina afecta a otra; la irresponsabilidad de un individuo, un colectivo o un país nos afectan a todos. Para solucionar definitivamente el problema debemos ir al origen del fenómeno, para satisfacer nuestras necesidades energéticas no podemos seguir quemando combustibles fósiles de manera completamente irresponsable como hasta ahora, tenemos que lograr que produzcan residuos totalmente asimilables y biodegradables para la naturaleza sin alterar su equilibrio natural, y además conseguir que esto sea económicamente viable, pero aunque lo lográramos quizás sea ya muy tarde pues los combustibles fósiles están dando claras muestras de agotamiento, está llegando su fin por ser no renovables y su precio no dejará de subir.

Evidentemente para satisfacer la demanda energética, tenemos que optar por fuentes limpias perpetuamente disponibles y viables, como lo son ya las energías renovables como la solar, eólica, biomasa, mareomotriz, geotérmica, micro hidráulica, etc.

En el caso del transporte se debe hacer un plan de cambio urgente para dejar de fabricar nuevos coches y aviones, etc., que se alimenten de hidrocarburos por biocombustibles (ya existentes); para los coches viejos, obligar a usar algún control de emisiones que disminuya las emisiones. E invertir en desarrollar la fuente de energía más prometedora, abundante y limpia conocida hasta ahora para que pueda ser rentable y competitiva: el hidrógeno, con capacidad de abastecer todo el consumo necesario del planeta (industrias, viviendas, transporte, centrales eléctricas, etc.), en lugar de invertir cantidades astronómicas en centrales nucleares.

De esta manera solucionaríamos el oscurecimiento global y aún más: se contribuiría en gran medida a solucionar el calentamiento global y se mejoraría la salud y equilibrio general de la Tierra.

3. GENERALIDADES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Están clasificados en GEI directos e indirectos.

GEI Directos: Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados.

GEI Indirectos: Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono.

3.1 GEI DIRECTOS

3.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. Dentro del ciclo natural del carbono, el CO₂ juega un rol principal en un gran número de procesos biológicos. En relación a las actividades humanas el CO₂ se emite principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de bosques (según la FAO, el 26% de la superficie terrestre se destina al pastoreo, y la producción de forrajes requiere de cerca de una tercera parte del total de la superficie agrícola. La principal causa de deforestación en América Latina se debe, justamente, a la expansión de tierras para el pastoreo. El 70% de los bosques amazónicos se usan como pastizales) y por algunos procesos industriales como la fabricación del cemento.

En la siguiente figura, se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de CO₂ a escala global. Se observa que esta tiene un comportamiento cíclico (monomodal) durante el año (este comportamiento se presenta principalmente en el hemisferio norte, debido a que hay mayor área continental, mientras que, en el hemisferio sur su comportamiento es más suavizado debido a que hay mayor superficie oceánica), presentándose las menores concentraciones hacia la mitad del año (periodo de mayo a agosto) en el hemisferio norte, periodo en el cual, dicha zona se encuentra en la estación de verano, intensificándose el proceso de la fotosíntesis por la vegetación e incrementándose la cantidad de CO₂ absorbido por las plantas. Espacialmente, las mayores concentraciones de CO₂ se presentan en el hemisferio norte, donde se encuentra la totalidad de los países industrializados responsables exclusivos del aumento de la concentración de la mayoría de los gases de GEI que se han ido acumulando en la atmósfera desde la revolución industrial a mediados del siglo XIX.

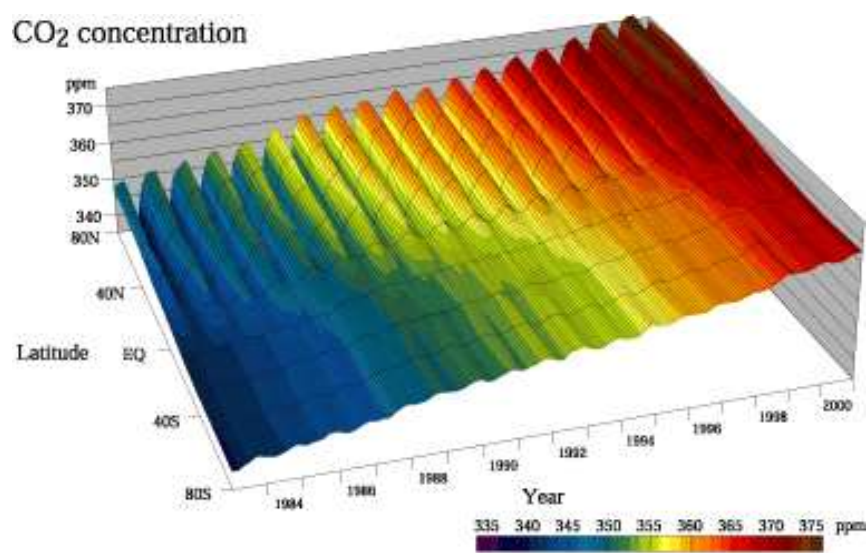


Figura 16. Variación espacio-temporal del CO₂ a escala global
Fuente: <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg.html>

3.1.2 METANO (CH₄)

El metano es un fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. La carga atmosférica de metano a finales de la década de los 90's era de 4800×10^{12} gramos, más de dos veces la cantidad presente durante la era preindustrial. Esta duplicación en la carga atmosférica del metano ha contribuido en aproximadamente un 20% del forzamiento radiativo directo debido a emisiones antropogénicas de GEI directos. El metano es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilo (OH) convirtiéndose finalmente en CO₂.

La fuente más importante de metano es la descomposición de materia orgánica en sistemas biológicos:

1. Las actividades agrícolas relacionadas con: a) fermentación entérica como consecuencia del proceso digestivo de los herbívoros; b) descomposición en condiciones anaerobias (sin oxígeno) del estiércol generado por especies pecuarias; c) cultivos de arroz bajo riego y d) quemadas de sabanas y residuos agrícolas.
2. Disposición de residuos sólidos.
3. El tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales.

Otra fuente importante de metano está relacionada con la producción y distribución de gas natural y petróleo y en la explotación de carbón mineral.

El efecto de las emisiones de metano por fermentación intestinal de los rumiantes es bastante grande a nivel global y se estima que esta fuente produce hasta el 37% del metano presente en la atmósfera. El desfogue del intestino de una vaca es tan perjudicial para el medio ambiente, que se estima que cada vaca produce 90 kilos de metano al año, lo que equivale, en términos energéticos, a 120 litros de gasolina. Expresado de otra forma: con la energía de los gases y el estiércol producidos en 365 días por cada bovino es posible propulsar un automóvil entre Bogotá y Cartagena.

La contribución de la combustión de combustibles a las emisiones globales de metano es mínima y la incertidumbre es alta. El metano es producido en pequeñas cantidades desde la combustión de combustibles debido a la combustión incompleta de hidrocarburos en el combustible. La producción de metano depende de la temperatura en el equipo. En las fuentes de combustión más pequeñas las velocidades de emisión son más grandes particularmente cuando ocurre fuego lento sin llama (smouldering). Las velocidades más altas de emisiones de metano ocurren en aplicaciones residenciales (pequeñas estufas y quemadas a cielo abierto).

Las emisiones de metano desde fuentes móviles son una función del contenido de metano del combustible motor, la cantidad de hidrocarburos no quemados pasando a través del motor y los controles postcombustión.

Las emisiones fugitivas de metano desde actividades relacionadas con gas y petróleo probablemente contabilizan cerca 30 a 60 Tg por año de las emisiones globales de metano. Fuentes de emisiones asociadas a este ítem son: pérdidas durante la operación normal (producción, transporte, almacenamiento y refinación), así como las asociadas al venteo y flameado, escapes crónicos o descargas desde procesos de venteo, emisiones durante el mantenimiento y emisiones durante alteraciones de los sistemas y accidentes. El venteo se refiere a la disposición de gas en áreas de producción combinadas de petróleo y gas donde la infraestructura de tuberías es incompleta y el gas natural no puede ser reinyectado y tiene que ser liberado o quemado.

3.1.3 OXIDO NITROSO (N₂O)

El óxido nitroso, cuyas fuentes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6% del forzamiento del efecto invernadero. Sus fuentes incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles y biomasa y la agricultura. El óxido nitroso es inerte en la troposfera. Su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico.

La fuente más importante de óxido nitroso son las emisiones generadas por suelos agrícolas y en menor grado por el consumo de combustibles fósiles para generar energía y las emitidas por descomposición de proteínas de aguas residuales domésticas. Las emisiones de óxido nitroso generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes.

Así como el metano, la contribución de la combustión de combustibles a las emisiones globales de N₂O es mínima y la incertidumbre es alta. Se ha determinado que las temperaturas de combustión más bajas (particularmente, por debajo de 1200 K) causan más altas emisiones de N₂O con un máximo de producción ocurrido alrededor de los 1000 K (730°C). Para temperaturas de combustión por debajo de 800 K (530°C) o sobre los 1200 K (930°C) las emisiones son insignificantes. El óxido nitroso es producido por diferentes procesos de reducción catalítica.

Las emisiones desde vehículos hasta ahora se están estudiando con detalle y son bajas respecto al total de emisiones antropogénicas y pueden ser relativamente más altas cuando se utilizan controles de emisión (especialmente catalíticos).

Otras fuentes de N₂O de menor importancia son: la producción de ácido nítrico y adípico (nylon), tratamiento de aguas residuales y quema de residuos y biomasa.

3.1.4 COMPUESTOS HALOGENADOS

Los halocarbonos tienen efectos sobre el forzamiento radiativo tanto directos como indirectos. Los clorofluorocarbonos (CFCs), los cuales incluyen el CFC11 (CFC₃) y el CFC12 (CF₂Cl₂) son una familia de compuestos que no existen naturalmente en el ambiente. Desde que empezó su fabricación a principios de la década de los 30's, los CFCs han sido utilizados como gases refrigerantes, como solventes en aplicaciones industriales y en la limpieza en seco y como propulsor en los recipientes de aerosoles. Otros compuestos que contienen cloro incluyen los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), el metil cloroformo y el tetracloruro de carbono, mientras que entre los compuestos que contienen bromo están los halones, el bromuro de metilo y los hidrobromofluorocarbonos (HBFCs). Estos compuestos

halogenados son poco reactivos en la troposfera, pero en la estratosfera pierden los átomos de cloro y bromo (a través de procesos fotoquímicos) y posteriormente destruyen catalíticamente el ozono. Estos compuestos también contribuyen al forzamiento del efecto invernadero. La producción de los CFCs ha sido prohibida por el Protocolo de Montreal y sus enmiendas.

A pesar de que entre los CFCs y los HCFCs se incluyen gases con altos potenciales de calentamiento global, su forzamiento radiativo neto es reducido debido a que ellos destruyen el ozono estratosférico el cual es un importante GEI.

Los Hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF_6) no destruyen la capa de ozono y no están cubiertos dentro del Protocolo de Montreal, sin embargo, estos son poderosos GEIs. Los HFCs fueron inicialmente usados para reemplazar algunas Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) pero también es emitido como un subproducto en la manufactura del HCFC-22. Los PFCs y el SF_6 son emitidos a partir de varios procesos industriales como son: la fundición del aluminio, la fabricación de semiconductores y la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Los CFC, HCFC, HFC y los perfluorocarbonos (PFC, compuestos que solo tienen átomos de carbono y fluor y están caracterizados por tener una alta estabilidad, baja toxicidad y un Potencial de Agotamiento de Ozono-ODP de cero) son buenos absorbentes de radiación infrarroja, en parte, porque muchos de ellos absorben energía en la región de longitudes de onda donde la energía no es absorbida por el dióxido de carbono ni el vapor de agua, (región denominada como ventana atmosférica, ver Figura 17).

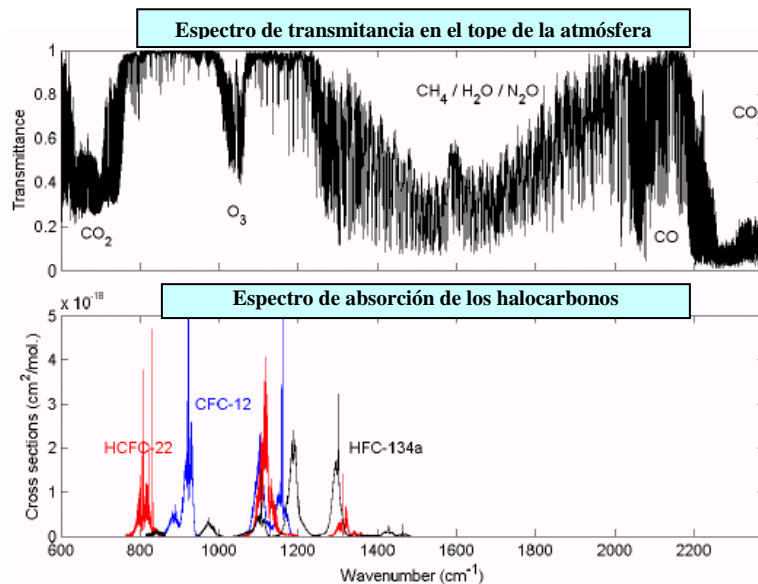


Figura 17. En la parte superior se presenta la fracción de radiación transmitida por la atmósfera para un espectro de energías infrarrojas y muestra la existencia de una “ventana atmosférica” entre los 700 a 1200 número de onda donde hay poca absorción. En la parte inferior se muestra que varios halocarbonos son absorbentes efectivos en esta región de ventana (Fuente: IPCC).

Las moléculas de halocarbonos pueden ser miles de veces más eficientes como absorbentes de energía emitida por la tierra que una molécula de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de estos gases pueden contribuir apreciablemente al forzamiento radiativo del sistema climático.

En la tabla 1 se observa que entre las SAO, los gases que tienen mayores GWP son los PFCs, seguidos por los CFCs, los HCFCs y los HFCs (excepto el HFC-23 que tiene un GWP alto).

Para ver una descripción más detallada de los compuestos halogenados, favor dirigirse a la sección [ozono](http://www.ideam.gov.co/sectores/ozono/index4.htm) (<http://www.ideam.gov.co/sectores/ozono/index4.htm>) de la página Web del IDEAM. Se recomienda ver los siguientes títulos:

- Sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO)
- Contribución de las SAO al forzamiento radiativo del sistema climático
- Cambios en las concentraciones y emisiones de las SAO

3.1.5 OZONO TROPOSFERICO

El ozono esta presente en la estratosfera superior, donde protege la Tierra de niveles perjudiciales de radiación ultravioleta y en concentraciones más bajas en la troposfera, donde es el componente principal del smog fotoquímico antropogénico. Durante las últimas tres décadas, las emisiones antropogénicas de halocarbonos que contienen cloro y bromo, tal como los CFCs han disminuido las concentraciones estratosféricas de ozono. Esta pérdida de ozono en la estratosfera ha tenido como resultado un forzamiento radiativo negativo, debido a que el ozono es un importante GEI.

El aumento en las concentraciones de ozono troposférico, que también es un GEI, se estima que proporcionará el tercer aumento más grande en el forzamiento radiativo directo positivo desde la era preindustrial, detrás del CO₂ y el CH₄. El ozono troposférico es producido a partir de reacciones químicas complejas de compuestos orgánicos volátiles que se mezclan con óxidos de nitrógeno (NO_x) en presencia de luz solar.

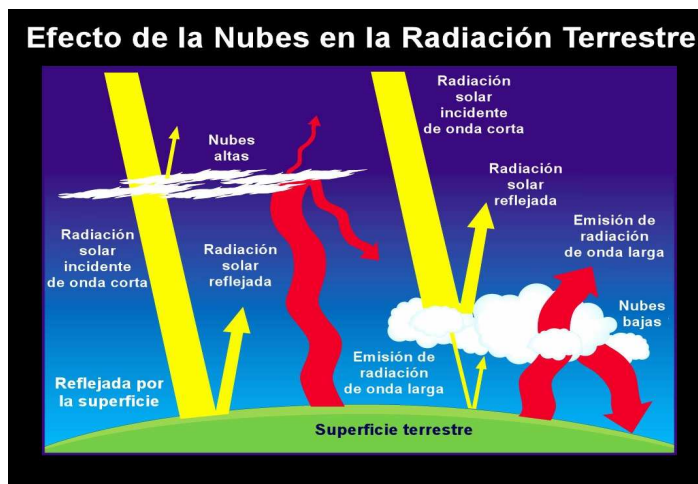
Para ver una descripción detallada del ozono troposferico, favor dirigirse a la sección [ozono](http://www.ideam.gov.co/sectores/ozono/index4.htm) (<http://www.ideam.gov.co/sectores/ozono/index4.htm>) de la página web del IDEAM. Se recomienda ver el título **Troposférico**.

3.1.6 VAPOR DE AGUA

El vapor de agua sigue siendo el GEI más abundante en la atmósfera y las nubes son una parte importante del invernadero planetario de la Tierra. Los gases de invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, son investigados quizás

más extensamente, pero las nubes pueden provocar el mismo efecto: calientan nuestro planeta atrapando el calor que se encuentra debajo de ellas. A diferencia de los gases de invernadero, sin embargo, las nubes que reflejan los rayos solares también poseen una influencia refrigerante. Además, la temperatura del aire, que se ve afectada por las nubes, a su vez afecta la formación de las propias nubes. Es una relación circular que hace que la investigación del clima sea mucho más compleja.

Las actividades humanas no están afectando directamente la concentración media global del vapor del agua; sin embargo, el forzamiento radiativo producido por el incremento en las concentraciones de otros GEIs puede afectar indirectamente el ciclo hidrológico. Una atmósfera más caliente tiende a incrementar su contenido de vapor de agua lo cual afectará la formación de nubes.



En general, las nubes bajas y espesas reflejan la luz solar nuevamente hacia el espacio enfriando el planeta. Por otro lado, las delgadas nubes que se desplazan en lo alto forman una escasa sombra y debido a que son frías en sí mismas, atrapan el calor que irradia el planeta ubicado allá abajo. La temperatura del aire que se encuentra cerca del suelo, en efecto podría aumentar.

Figura 18. El complejo papel de las nubes en el equilibrio Energético de la Tierra (Fuente: NASA).

Las nubes continúan siendo una de las mayores incógnitas en los efectos de los cambios de temperatura sobre el sistema climático y preguntas como: ¿Cuánta luz solar reflejan las diferentes clases de nubes? ¿Cuánto calor absorben? ¿Y cómo responden a los cambios de temperatura en el ambiente?, hasta ahora se están respondiendo y el instrumento orbital de la NASA llamado CERES (Cloud and the Earth's Radiant Energy System - Sistema de Energía Radiante de las Nubes y de la Tierra) está contribuyendo a solucionar dichas inquietudes.

CERES es un instrumento compuesto por tres telescopios que observan nuestro planeta desde la órbita de la Tierra y nos dice cuánta radiación solar se refleja desde las nubes o desde el hielo. Los otros dos telescopios perciben el calor infrarrojo de longitud de onda más larga. Ellos revelan cuánto calor atrapan las nubes y qué cantidad de dicho calor se escapa nuevamente hacia el espacio.

Ahora, CERES se encuentra girando en órbita alrededor de la Tierra, a bordo del satélite Terra, de la NASA. El instrumento estaba rastreando nuestro planeta el

verano pasado cuando una ola de calor azotó California y produjo un considerable aumento en la radiación infrarroja emitida desde esa región (ver Figura 19). CERES reveló no solamente el resplandor infrarrojo sobre el suelo, sino también qué cantidad de ese calor absorbió la atmósfera -- información clave para los estudios sobre el calentamiento global.

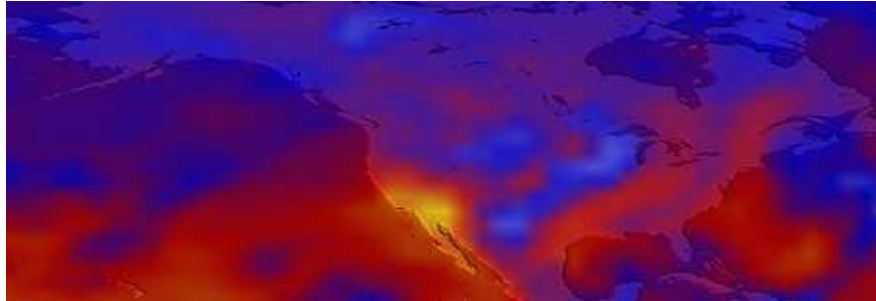


Figura 19. California está brillando en esta imagen de calor infrarrojo que es irradiado desde la Tierra. CERES, a bordo de Terra, capturó la información durante la ola de calor que tuvo lugar en California, en 2001. (Fuente: NASA)

3.2 GEI INDIRECTOS

3.2.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno forman una gran familia de gases traza que se presentan en la troposfera de la Tierra. Ellos se originan en procesos antropogénicos (motores de automóviles y por las centrales de energía) y naturales (quema de biomasa, relámpagos y actividad microbiana del suelo). Los compuestos más importantes son: el NO (óxido nítrico), el NO₂ (dióxido de nitrógeno el cual es un gas venenoso color marrón-rojizo que produce un olor muy fuerte), el HNO₃, los aerosoles nitrados y el Peroxi- Acetil- Nitrato (PAN). La suma del NO y el NO₂ es usualmente reportada como NO_x. El NO y el NO₂ son los compuestos inicialmente emitidos, mientras que los otros son productos secundarios resultantes de conversiones atmosféricas. El óxido nitroso (N₂O) es un caso especial; su química es muy diferente a la de los otros óxidos de nitrógeno ya que es inerte en la troposfera.

Los óxidos de nitrógeno son GEI indirectos que han sido objeto de políticas ambientales por su rol en la formación de ozono, así como por sus efectos de acidificación directa y porque controlan la concentración de radicales hidroxilo (OH) en la atmósfera. Los radicales OH son moléculas muy reactivas que controlan la oxidación de varios GEI.

Las actividades de combustión de combustibles son las fuentes antropogénicas de NO_x más significantes. Dentro de la combustión de combustibles las más importantes fuentes son las industrias de energía y las fuentes móviles.

Generalmente se distinguen dos mecanismos diferentes de formación:

- Formación de “NOx de combustibles” a partir de la conversión del nitrógeno ligado químicamente en el combustible.
- Formación de “NOx térmico” a partir de la fijación del nitrógeno atmosférico (nitrógeno que compone el aire) en los procesos de combustión.

La mayoría de los NOx emitidos desde el carbón (80-90 %) es formado desde el nitrógeno del combustible. El NOx térmico contribuye con menos del 20% y depende de la temperatura de la combustión. Excesos de aire y altas temperaturas en algunas configuraciones pueden aumentar la producción de NOx y estas dependen del tipo de equipo y de la tecnología de operación. Para el petróleo, la participación del NOx del combustible puede ser menor del 50%. En combustibles gaseosos únicamente se forma el NOx térmico.

Las emisiones de NOx desde fuentes móviles son relacionadas a la mezcla aire/combustible, las temperaturas de combustión, así como los equipos de control. Para vehículos no controlados la proporción de emisiones de NOx desde vehículos diesel son generalmente más bajas que para un vehículo a gasolina y más bajas para un vehículo liviano que para uno pesado, los que contribuyen significativamente con las emisiones.

3.2.2 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la troposfera, el monóxido de carbono es frecuentemente el principal sumidero de radicales hidróxilo (OH). Es un componente de la amplia variedad de reacciones que oxidan el carbón, nitrógeno y azufre reducido contenido en gases traza. Aunque el CO por si mismo no contribuye directamente al efecto invernadero, a causa de su influencia sobre los radicales OH, el CO tiene la importancia climatológica ya que su cantidad afecta indirectamente la formación de otros GEI tales como el metano y el ozono troposférico.

Este es un GEI indirecto creado cuando el carbono contenido en los combustibles es quemado incompletamente y posteriormente es oxidado a CO₂ a través de procesos naturales. La mayoría de las emisiones de CO de la combustión de combustibles proviene de los automotores. Otro gran contribuyente es el sector residencial desde pequeños equipos de combustión.

El CO es un producto intermedio de los procesos de combustión y en particular bajo condiciones estequiométricas de combustión. EL mecanismo de formación del CO es directamente influenciado por patrones de uso, tipo y tamaño del equipo, mantenimiento y tecnología de la operación. Las velocidades de emisión pueden variar varios órdenes de magnitudes mayores para equipos que son pobremente operados o inapropiadamente mantenidos, tal como puede ser el caso de equipos viejos.

El tamaño y la edad del equipo pueden indicar que en las unidades más pequeñas y viejas la combustión es menos controlada y probablemente sus emisiones serán más altas que en las unidades más grandes y nuevas.

Las emisiones de CO desde fuentes móviles son una función de la eficiencia de la combustión, así como los controles de emisión post combustión. Las emisiones son más altas cuando las mezclas aire-combustible contienen menos oxígeno que el requerido para una combustión completa. Esto ocurre especialmente en velocidades bajas y en condiciones de arranque en frío.

3.2.3 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES DIFERENTES AL METANO (COVDM)

Estos son GEI indirectos e incluye gases como el butano, propano y etano. Estos compuestos participan, junto a los NO_x, en la formación de ozono troposférico y otros oxidantes fotoquímicos. La mayoría de las emisiones de COVDM de la combustión de combustibles proviene de los automotores. Otro gran contribuyente es el sector residencial (especialmente desde la combustión de biomasa) y los procesos industriales.

Las emisiones de COVDM (ej. olefinas, cetonas y aldehídos) son el producto de la combustión incompleta. Ellos son directamente influenciados por patrones de uso, tipo y tamaño del equipo, mantenimiento y tecnología de la operación. Las velocidades de emisión pueden variar varios órdenes de magnitud para equipos que son pobremente operados o inapropiadamente mantenidos, tal como puede ser el caso de equipos viejos.

Las emisiones son más bajas en grandes plantas de combustión. En general, en las unidades más pequeñas y viejas la combustión es menos controlada y probablemente sus emisiones serán más altas que en las unidades más grandes y nuevas.

3.3 ÓXIDOS DE AZUFRE Y PARTICULAS

Los óxidos de azufre no son gases de efecto invernadero pero su presencia en la atmósfera puede influenciar el clima. El SO₂ es un precursor de aerosoles (puede reaccionar con una gran variedad de oxidantes producidos fotoquímicamente para formar aerosoles sulfatados) y tiene un efecto de enfriamiento sobre el clima, por lo tanto, debe ser incluido en la modelación del clima. Los aerosoles son pequeñas partículas, como el polvo volcánico, polvo del suelo, sal oceánica, arena suspendida por tormentas, productos de la combustión carbonacea, de la producción de cemento, incineración de residuos, quema de biomasa, la contaminación e incluso el rocío del mar, suspendidas en el aire que reflejan y absorben radiación infrarroja solar y la emitida por la superficie de la Tierra,

asimismo, ayudan para que se formen las nubes, actuando como "sitios de nucleación (núcleos de condensación)" alrededor de los cuales las gotas de agua crecen en tamaño. Un incremento en el número de núcleos de condensación sobre una escala global puede incrementar el albedo de las nubes (mayor cantidad de radiación reflejada por el tope de las nubes). Igualmente, un incremento de las partículas sulfatadas en la estratosfera puede incrementar la reflexión de onda corta al espacio.

La concentración de estas partículas esta incrementándose debido a la combustión de combustibles fósiles los cuales contienen azufre. Su efecto, en algunas regiones del hemisferio norte, puede ser comparable (pero opuesto) a las emisiones de GEI. Sin embargo, estudios recientes han concluido que los aerosoles dependiendo de su tamaño y su forma geométrica pueden contribuir al calentamiento de la atmósfera, por lo que nadie sabe si el aumento del número de aerosoles enfriará o calentará nuestro planeta.

Los aerosoles son removidos rápidamente de la atmósfera por la precipitación. Puesto que los aerosoles tienen tiempos de vida atmosféricas cortas y sus concentraciones y composiciones varían regional, espacial y temporalmente, sus contribuciones al forzamiento radiativo son difíciles de cuantificar.

La cantidad de emisiones antropogénicas a nivel mundial de SO₂ están del orden de 70 a 80³ millones de toneladas por año (Vernon & Jones, 1993, IPCC Reference Manual, Revised 1996 IPCC Guidelines) comparadas con las emisiones naturales del orden de 18-70 millones de toneladas. Hay sin embargo una escasez de información relativa al aumento de las emisiones de azufre a partir de la combustión, debido a la falta de información detallada sobre los niveles de azufre del combustible quemado. Más del 80% del aumento de las emisiones antropogénicas de SO₂ provienen de la combustión de combustibles, con tres cuartas partes de este aumento proveniente del carbón.

Por otro lado, el hollín, que se forma generalmente por partículas de carbón que, junto con sales y polvo, son derivados de la quema de combustibles fósiles y de la vegetación, afecta la capacidad de reflejar el sol impidiendo que la nieve y el hielo reflejen la luz del sol. Un ejemplo de esto es lo que está pasando en el Ártico desde mediados del siglo XIX. Según investigadores que estudian la influencia de los humanos sobre el clima, muestras de hielo de 1850, muestran rastros de hollín provenientes de incendios forestales. Pero desde entonces, el hollín en la nieve ha aumentado varias veces y ahora proviene de actividades industriales, según un informe de la revista Science. El hollín oscurece la nieve y hace que absorba la luz solar, la caliente y la derrita. Esto, a su vez, puede contribuir al calentamiento del clima exponiendo suelo más oscuro que absorbe energía del Sol en vez de la

³ Estimaciones a través de estadísticas de energía y usando supuestos sobre el contenido de azufre de los combustibles.

nieve blanca que la refleja. El estudio sobre el hollín fue efectuado por un equipo dirigido por Joseph McConnell del Desert Research Institute en Reno, Nevada.

Lo anterior confirma algunos estudios de la NASA, en los cuales se concluye que el hollín contribuye a derretir el hielo a nivel mundial, que es generalmente atribuido al calentamiento global de la atmósfera, por lo cual esta agencia afirma que el hollín causa al menos una cuarta parte del efecto invernadero en el planeta.

La concentración del SO₂ en áreas remotas es cercana a 0,5 ppbv. En áreas urbanas las concentraciones pueden alcanzar valores tan altos como los 10 ppbv. Las chimeneas de plantas industriales y las emisiones volcánicas pueden emitir concentraciones tan altas como de 1000 ppbv.

3.4 CONCENTRACIONES DE LOS GEI

Las actuales concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono y de metano, exceden en una cantidad significativa los valores preindustriales y los ocurridos durante los últimos 650.000 años (determinados a partir de muestras de hielo). Los incrementos en estos gases desde 1750 se deben principalmente a las emisiones relacionadas al uso de combustibles fósiles, la agricultura y el cambio en el uso del suelo.

- El dióxido de carbono es el más importante GEI asociado a actividades humanas. Su concentración se incrementó desde la era preindustrial desde un valor de 280 ppm (partes por millón) hasta 379 ppm en el 2005 (ver Figura 20). Las emisiones anuales de CO₂ asociadas a combustibles fósiles (y a la producción de cemento) se incrementaron desde 6,4 GtC/año (Gigatoneladas de carbono al año) en promedio en la década de los noventas hasta 7,2 GtC/año en el periodo 2000-2005. Las emisiones de CO₂ asociadas a cambio en el uso del suelo están dentro de un rango de 0,5 a 2,7 GtC/año.

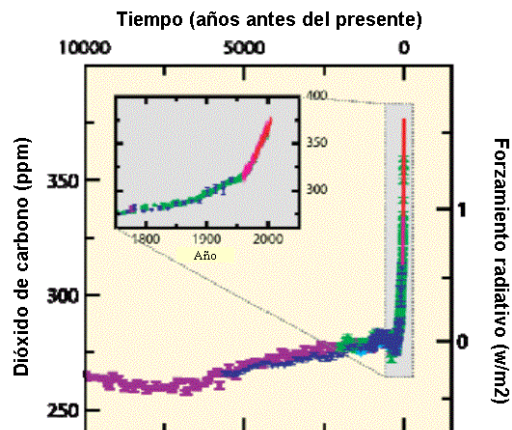


Figura 20. Concentraciones atmosféricas de CO₂ en los últimos 10.000 años y desde 1750 (panel insertado). En el eje de la derecha se presenta el forzamiento radiativo correspondiente.

Fuente: Cuarto informe del IPCC.

Según el IPCC las concentraciones tan altas de CO₂ que se están presentando en la atmósfera, no se han presentado en los últimos 420.000 años e inclusive ni durante los últimos 20 millones de años.

- La concentración de metano se incrementó desde la era preindustrial desde un valor de 715 ppb (partes por billón) hasta 1774 ppb en el 2005 (ver Figura 21). Gran cantidad de las emisiones de metano están asociadas a la agricultura y al uso de combustibles fósiles.

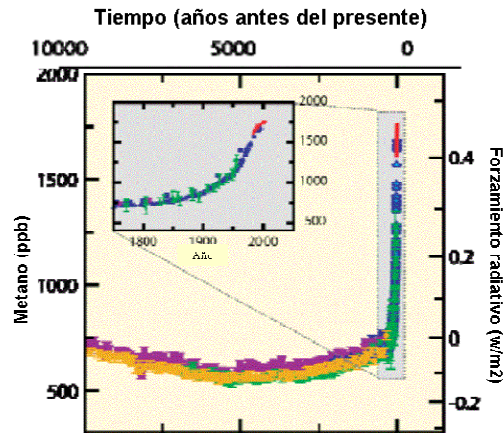


Figura 21. Concentraciones atmosféricas de metano en los últimos 10.000 años y desde 1750 (panel insertado). En el eje de la derecha se presenta el forzamiento radiativo correspondiente. Fuente: Cuarto informe del IPCC.

- La concentración de óxido nítrico se incrementó desde la era preindustrial desde un valor de 270 ppb (partes por billón) hasta 319 ppb en el 2005 (ver Figura 22). La tasa de crecimiento ha sido constante desde 1980. Más de la tercera parte de las emisiones de óxido nítrico metano están asociadas a actividades humanas y principalmente debidas a la agricultura.

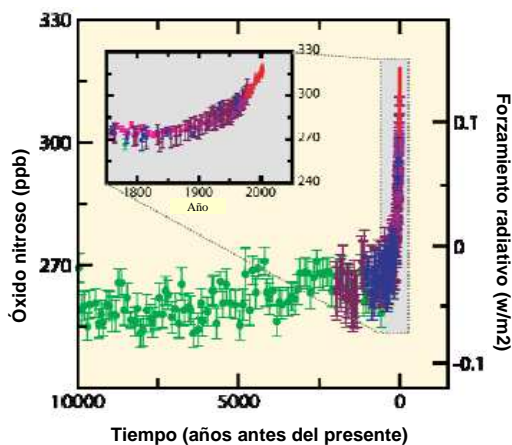


Figura 22. Concentraciones atmosféricas de Óxido nítrico en los últimos 10.000 años y desde 1750 (panel insertado). En el eje de la derecha se presenta el forzamiento radiativo correspondiente. Fuente: Cuarto informe del IPCC.

La variación en el ozono troposférico y estratosférico, así como en los halocarbonos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Variaciones en las concentraciones de otros GEI

Concentración estratosférica de O ₃	Una disminución en los años 1970-2000, con variaciones según la altitud y la latitud.
Concentración troposférica de O ₃	Aumento del 35±15 por ciento entre los años 1750-2000, con variaciones según las regiones.
Concentraciones atmosféricas de HFC, PFC y SF ₆	Aumento en todo el mundo durante los últimos 50 años.

4. INFORMES DE EVALUACIÓN DEL IPCC

4.1 QUE ES EL IPCC

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Se trata de un grupo abierto a todos los Miembros de las Naciones Unidas y de la OMM. Sus atribuciones comprenden:

- i) Analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo.
- ii) Proporcionar, previa solicitud, asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes (CP) de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC).

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. El IPCC elabora, asimismo, 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 invernadero.

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

- El [Grupo de trabajo I](#) evalúa los aspectos científicos del sistema climático y el cambio climático.
- 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.
- El [Grupo de trabajo III](#) evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de GEI y de atenuar los efectos del cambio climático.
- El [Equipo especial sobre los inventarios nacionales de GEI](#) se encarga del Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de GEI.

A continuación se suministra información general sobre el IPCC, sus miembros, sus procedimientos y sus actividades en curso en las siguientes hojas informativas:

[Introducción](http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Introduction%20S.pdf) (http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Introduction%20S.pdf)

[Miembros – Quién es quién en el IPCC](http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Who%20is%20who%20S.pdf) (http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Who%20is%20who%20S.pdf)

[Procedimientos – Cómo se elaboran los informes del IPCC](http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Procedures%20S.pdf) (http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Procedures%20S.pdf)

[Actividades del IPCC en curso](http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Ongoing%20activities%20S.pdf) (http://www.ipcc.ch/about/faq/IPCC%20Ongoing%20activities%20S.pdf)

Desde 1990 el IPCC ha elaborado una serie de informes de evaluación, informes especiales, documentos técnicos, metodologías y otros productos que se han convertido en obras de referencia estándar, ampliamente utilizadas por los responsables de políticas, científicos y otros expertos y han sido reconocidos como la mejor fuente de información sobre cambio climático.

Una de las más importantes conclusiones del segundo reporte de evaluación del IPCC del año 1995 ha sido que “el balance de la evidencia sugiere que hay una perceptible influencia humana sobre el clima global”⁴. Esta declaración estimuló a muchos gobiernos a las negociaciones de lo que llegó a ser el Protocolo de Kyoto (1997), el cual busca disminuir las emisiones relacionadas a actividades humanas de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Otra conclusión importante de este reporte es: “las actividades humanas están cambiando las concentraciones y distribuciones atmosféricas de los GEI y aerosoles. Estos cambios pueden producir un forzamiento radiativo que pueden cambiar la reflexión o absorción de la radiación solar o la emisión y absorción de radiación terrestre”.

4.2 TERCER REPORTE DE EVALUACIÓN

El tercer reporte de evaluación ([Third Assessment Report - TAR](http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf) – en esta página se accede al resumen para responsables de política: http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf), emitido en mayo de 2001, confirmó los hallazgos del segundo reporte proporcionando nuevas y más fuertes evidencias sobre el calentamiento mundial. El TAR es la primera evaluación completa de las bases científicas del cambio climático desde que el Grupo de trabajo I del IPCC hiciera en 1996 su segundo informe, titulado “Cambio climático 1995: La ciencia del cambio climático”.

La primera parte del informe sobre la base científica del cambio climático (realizado por el Grupo de trabajo I), aumenta y actualiza la información del segundo informe y de los informes anteriores, pero, principalmente, evalúa las

⁴ UNEP-WMO-UNITAR-UNFCCC. *Climate Change - Information kit*. Editado en Suiza. Enero de 1997.

nuevas informaciones e investigaciones de los últimos cinco años. Analiza el enorme conjunto de observaciones de todas las partes del sistema climático y llega a la conclusión de que este conjunto de observaciones nos da ahora una imagen de conjunto de un mundo en fase de calentamiento. Cataloga las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y evalúa los efectos de estos gases y de los aerosoles atmosféricos en la modificación del balance de la radiación del sistema Tierra - atmósfera. Evalúa la comprensión de los procesos que rigen el sistema climático y, mediante el estudio de la precisión con la que la nueva generación de modelos climáticos representa estos procesos, valora la idoneidad de los modelos para proyectar en el futuro el cambio climático. Estudia detalladamente la influencia humana en el clima y si dicha influencia puede identificarse con más confianza que en 1996, llegando a la conclusión de que hay nuevas pruebas más fehacientes de que la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años se debe a las actividades humanas. Las proyecciones del cambio climático futuro se presentan por medio de una amplia gama de escenarios sobre las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y de aerosoles. En todos los escenarios estudiados se prevé que tanto la temperatura como el nivel del mar seguirán subiendo durante el siglo XXI. Por último, el informe estudia las carencias de información y de conocimientos que siguen existiendo y la manera en que podrían tratarse.

El Grupo de trabajo II y III del IPCC han elaborado otros manuales de evaluación relacionados con impactos, adaptación y vulnerabilidad al cambio climático y mitigación de las emisiones de GEI, respectivamente. Uno de los objetivos importantes del TAR es facilitar una información objetiva que sirva de base a las políticas del cambio climático, las cuales habrán de cumplir el objetivo de la CMCC, que se expresa en el artículo 2, es decir, la estabilización de las concentraciones en la atmósfera de los gases de efecto invernadero a un nivel que podría evitar la interferencia antropógena peligrosa con el sistema climático.

En el tercer reporte del IPCC se estima que las concentraciones de CO₂ podrán aumentar en una gama total de 490 a 1260 ppm (entre un 75% a un 350%) por encima de la concentración del año 1750 (época preindustrial) para el final del año 2100 de acuerdo a seis escenarios socioeconómicos globales analizados. Con base en estas proyecciones principalmente se prevé un aumento en el promedio global de la temperatura de la superficie de la Tierra entre 1,4°C y 5,8°C⁵; un calentamiento de las áreas terrestres más rápido que el promedio global; un aumento en la precipitación media anual, con más lluvias y mayores variaciones anuales en algunas regiones y menores en otras regiones (los aumentos y las disminuciones serán generalmente de un 5% a un 10%); los glaciares y las capas de hielo continuarán disminuyendo su contenido de hielo y se estima un aumento proyectado en el nivel del mar de 9cm a 88 cm entre 1990 y el 2100.

⁵ Incremento muy superior al reportado en el Segundo Informe del IPCC en el cual se estimaban incrementos en la temperatura de entre 1,0°C y 3,5°C para los seis escenarios socioeconómicos IS92.

No obstante la percepción generalizada sobre la relación entre el cambio climático y los riesgos de fenómenos climáticos más intensos y frecuentes, los modelos que permiten estas proyecciones tienen aún incertidumbres de diversa magnitud. Ellos no prevén un aumento del potencial del cambio climático para generar catástrofes a gran escala en el corto plazo, pero sí se da una alerta para el largo plazo. Las proyecciones más confiables muestran lluvias más intensas en algunas áreas junto a un mayor riesgo de sequías en latitudes medias y ciclones tropicales más intensos (aunque su frecuencia es difícil de predecir). Así como, temperaturas máximas más altas y días más calientes, junto con temperaturas mínimas más altas y menos días fríos (IPCC, 2001).

Hallazgos específicos incluyen la proyección de impactos como daños irreversibles a ecosistemas y alto riesgo de extinción de especies animales y vegetales; incremento de la presión sobre el recurso hídrico en zonas áridas y semi-áridas; alteraciones en la producción de cultivos (en los trópicos y subtropicos se espera que la producción disminuya); efectos negativos sobre la salud humana (existe el riesgo de expansión geográfica de malaria y dengue); aumento en los riesgos por inundaciones y deslizamientos en zonas de asentamientos humanos. Generalmente, los países en desarrollo serán los más golpeados por los impactos del cambio climático, por su escasa capacidad para adaptarse a éstos, lo que los hace ser los más vulnerables a estos efectos negativos (IPCC, 2001).

Para ver el TAR en su totalidad (informe de síntesis; capítulo 1: La base científica; capítulo 2: impactos, adaptación y vulnerabilidad y el capítulo 3: Mitigación) y otros informes especiales del IPCC en español, puede acceder a la siguiente página: <http://www.ipcc.ch/languageportal/spanishportal.htm> (sección: Publicaciones/Informes de Evaluación e Informes Especiales/ **✳Tercer Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático 2001)**

4.3 CUARTO REPORTE DE EVALUACIÓN

El IPCC ha decidido continuar preparando reportes de evaluación y en el transcurso del año 2007 estará presentando su Cuarto Reporte (AR4). El reporte de los tres Grupos de Trabajo proveerá un análisis del estado actual del conocimiento en el tema del cambio climático.

Los principales temas del reporte de síntesis y la participación de cada grupo en los diferentes temas se pueden apreciar en la siguiente dirección: <http://www.ipcc.ch/activity/ar4outline.htm>

En los siguientes vínculos se pueden observar los resúmenes de los informes de las evaluaciones realizadas por los Grupos de Trabajo I, II y III del IPCC:

✚ [RESUMEN DEL INFORME DEL GRUPO DE TRABAJO I \(LA BASE CIENTÍFICA\)](http://www.ipcc.ch/WG1_SPM_17Apr07.pdf) (http://www.ipcc.ch/WG1_SPM_17Apr07.pdf)

- ✚ [RESUMEN DEL INFORME DEL GRUPO DE TRABAJO II \(IMPACTOS, ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD\)](http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf) (<http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf>)
- ✚ [RESUMEN DEL INFORME DEL GRUPO DE TRABAJO III \(MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO\)](http://www.ipcc.ch/SPM040507.pdf) (<http://www.ipcc.ch/SPM040507.pdf>)

4.4 CAMBIO CLIMÁTICO EN CUMBRE G8, ALEMANIA 2007

Las expectativas ambientalistas de un acuerdo para reducir las emisiones de gas para el 2050 a un 50% respecto a los cálculos de 1990, se vieron afectadas en las decisiones de los ocho países más industrializados del mundo (Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Italia, Japón y Rusia) en la reciente cumbre realizada en el balneario de Heiligendamm en el noreste de Alemania. La propuesta, puesta en agenda por la anfitriona Angela Merkel, comenzó a perder fuerzas con las posiciones del Presidente de EUA, George Bush (en 2001 excluyó a su país del Tratado de Kyoto, firmado por Bill Clinton, argumentando que afectaría su economía) y Vladimir Putin quienes se limitarían a considerar las decisiones, respecto a las emisiones de gases. Según el comunicado final, el G8 reconoció la necesidad de reducir sustancialmente las emisiones de gases, pero sin mencionar objetivos numéricos. El G8, también llamados el Club de los ricos, constituyen el 13 % de la población mundial, sin embargo son responsables de la emisión del 43% de gases influyentes en el efecto invernadero causantes del calentamiento del planeta. A la cumbre fueron invitados parcialmente los cinco países (G5) con economías emergentes (China, India, Brasil, Sudáfrica y México), que según Merkel, por ahora no aumentarán el G8 a un G13. Los párrafos más relevantes del documento final son:

- Tomamos nota y estamos preocupados por el reciente informe (el AR4 del 2007) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de la ONU (IPCC).
- Por ello estamos comprometidos a actuar decididamente y pronto para afrontar el cambio climático con el objetivo de estabilizar las concentraciones de gases con efecto invernadero a un nivel que permita prevenir una interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático.
- En el proceso de establecer objetivos globales para la reducción de emisiones, consideraremos seriamente las decisiones tomadas por la Unión Europea, Canadá y Japón que incluyen reducir por lo menos a la mitad las emisiones globales hasta 2050.
- Nos comprometemos a alcanzar esos objetivos e invitamos a los principales países emergentes a sumarse a nosotros en esta empresa.
- El cambio climático es un problema global, la respuesta debe ser internacional.
- Somos conscientes de que los países desarrollados deben seguir asumiendo el liderazgo en los esfuerzos por reducir las emisiones globales, de forma que todos los países puedan asumir compromisos climáticos efectivos confeccionados de acuerdo a sus situaciones particulares. No obstante, reconocemos que los esfuerzos de las economías desarrolladas no serán suficientes y que hacen falta nuevas contribuciones de otros países.

4.5 ESCENARIOS DE EMISIONES IE-EE DEL IPCC

Los escenarios del IE-EE son escenarios de emisiones ideados por Nakicenovic y otros (2000) que se han utilizado, como base de las proyecciones climáticas. Todos ellos son igualmente válidos y no tienen asignadas probabilidades de hacerse realidad. El conjunto de escenarios se compone de seis grupos de escenarios tomados de las cuatro líneas evolutivas y familias (ver Figura 23): un grupo de cada una de las familias A1, B1 y B2, y tres grupos de la familia A1, que caracterizan el desarrollo alternativo de tecnologías de energía: A1FI (utilización intensiva de combustibles de origen fósil), A1B (equilibrado) y A1T (predominantemente con combustibles no de origen fósil). Dentro de cada familia y grupo de escenarios, algunos de ellos comparten supuestos “armonizados” sobre la población mundial, el producto interior bruto y la energía final.

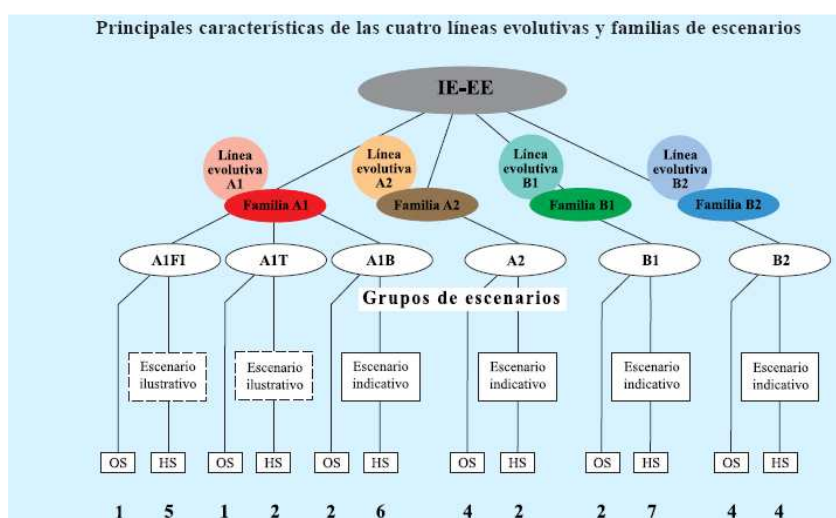


Figura 23. Ilustración esquemática de los escenarios IE-EE. Para ver el informe completo de escenarios ingrese a la siguiente fuente: <http://www.grida.no/climate/ipcc/spmpdf/sres-s.pdf>

En total, seis equipos de modelizadores han desarrollado 40 escenarios IE-EE. En la figura 1 están marcados estos escenarios con los grupos de letras “HS”, en el caso de los escenarios armonizados y con “OS” para los escenarios que exploran las incertidumbres asociadas a las fuerzas determinantes más allá de los escenarios armonizados. Se indica también el número de escenarios desarrollados en cada categoría. Para cada uno de los seis grupos de escenarios se ofrece un escenario ilustrativo (que será siempre armonizado). En el proceso abierto del IE-EE de 1998 se utilizaron cuatro proyectos de escenario indicativos, uno para cada familia. Se incluyen también otros dos escenarios ilustrativos de los grupos A1FI y A1T, con lo que se obtiene un total de seis escenarios ilustrativos de todos los grupos de escenarios. Todos ellos son igualmente correctos.

En el año 2100 el mundo habrá experimentado cambios que resulta difícil imaginar. Cada línea evolutiva está basada en una dirección de los acontecimientos futuros claramente diferenciada. Abarcan una gran diversidad de

características “futuras” decisivas, como el cambio demográfico, el desarrollo económico o el cambio tecnológico. Por esa razón, su plausibilidad o su viabilidad no deberían considerarse solamente en base a una extrapolación de las tendencias económicas, tecnológicas y sociales actuales.

- La línea evolutiva y familia de escenarios A1 describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y disminuye posteriormente y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones, la creación de capacidad y el aumento de las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. Esta familia se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B). El término “equilibrada” indica que no se dependerá excesivamente de un tipo de fuente de energía, en el supuesto de que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías de uso final experimenten mejoras similares.

- La línea evolutiva y familia A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

- La línea evolutiva B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo a mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

- La línea evolutiva B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

5. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA

El calentamiento del sistema climático es una realidad, evidenciado principalmente en los incrementos en la temperatura promedio global del aire y el océano, en el derretimiento de la nieve glacial y el hielo en los polos y en el aumento en el nivel del mar.

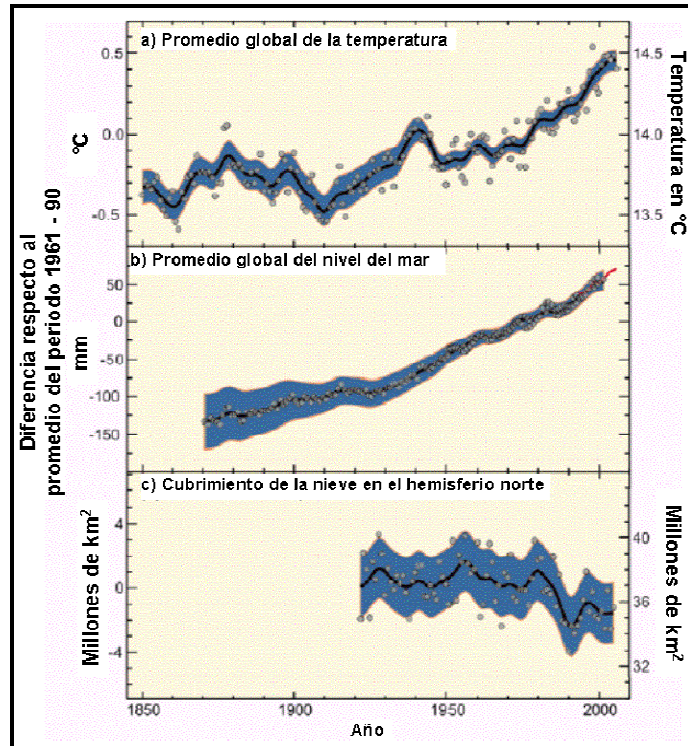


Figura 24. Cambios observados en: a) promedio de la temperatura superficial global; b) Promedio global del nivel del mar y c) cubrimiento de la nieve para el hemisferio norte entre marzo y abril. Todos los cambios son relativos a los promedios correspondientes al período 1961-1990. Fuente: Cuarto informe del IPCC.

5.1 A NIVEL GLOBAL

A continuación se presentan algunas señales particulares que evidencian el calentamiento del sistema climático:

- Los trece años más calientes se han producido en los últimos quince años, a partir de 1997, desde que se están registrando con instrumentos (1850) la temperatura superficial global (promedio de la temperatura del aire cerca de la superficie del suelo y la temperatura superficial del mar). La tendencia lineal de aumento de la temperatura para el período 1906-2005 de 0,74°C es mayor a la tendencia de 0,6°C para el período 1901-2000. La tasa lineal de calentamiento promedio de los últimos 50 años es de 0,13°C por década

y es casi el doble al promedio de los últimos 100 años. Los efectos de las islas de calor urbana son reales pero locales y tienen un efecto insignificante sobre estos valores (menos de 0,006°C por década) (Cuarto informe del IPCC). Otra señal importante de cambios en el clima global es, que el decenio de 1990 ha sido considerado como el período más cálido, y 1998 el año más caluroso, de acuerdo con los registros instrumentales (1850–2005)⁶, según el IPCC.

- La temperatura media del planeta en el 2010 igualó la del año 2005, que había sido considerado el segundo más caluroso de los últimos tiempos, según datos de la OMM, por detrás de 1998, desde que empezaron a realizarse las mediciones instrumentales en 1850. Según los datos de ese organismo de la ONU, el récord de calor en los últimos 40 años lo tiene 1998 con una temperatura de 0,55 grados superior a la media calculada entre 1961 y 1990 (y una temperatura media global de 14,54°C), mientras que en el 2005 el incremento registrado sobre ese promedio es de 0,48 grados.
- El año 2008 fue el año más frío de la década (con una temperatura de 0,33°C superior que el promedio y sin embargo ha sido el decimoprimeros más caliente desde 1860) debido a una baja en las temperaturas de las corrientes tropicales del océano Pacífico y el año 2009 fue el más caliente en el hemisferio sur desde 1880.
- El hemisferio norte se ha calentado el doble de rápido que el sur en los últimos años. Así lo sostiene la agencia climática de las Naciones Unidas en su informe anual sobre el estado del clima en el mundo. Allí señaló que entre 1997 y 2006, la temperatura promedio en el hemisferio norte fue 0,53° Celsius más elevada que en su promedio calculado de 1961 a 1990. En el sur, las temperaturas promedio se elevaron 0,27°C en el mismo período. "Hasta ahora, el hemisferio norte se calienta mucho más que el hemisferio sur", señaló la Agencia. "Los océanos responden mucho más lentamente a cualquier cambio de temperatura. Eso explica por qué el hemisferio norte, que tiene una mayor extensión de tierra que el hemisferio sur, tuvo un incremento de casi el doble de temperatura que el sur".
- Nuevos análisis de mediciones satelitales y realizadas con globos (que permiten medir el valor de una variable a medida que este asciende y así determinar su variación con la altura) de la temperatura en la baja y media troposfera, muestran tasas de calentamiento similares a las registradas en la temperatura superficial (Cuarto informe del IPCC).
- Varios de los incrementos observados en la temperatura promedio global desde la mitad del siglo XX, son debidos (muy probablemente) al

⁶ Estos cambios de temperatura no se han producido de manera homogénea en todo el mundo, sino que han variado según las diferentes regiones y diferentes partes de la baja atmósfera.

incremento observado en las concentraciones de los GEI. Las influencias humanas ahora se extienden a otros aspectos del clima, como en las temperaturas extremas, regimenes de vientos y en el calentamiento mayor en los continentes que sobre el océano. Esto último únicamente es simulado por los modelos que incluyen el forzamiento antropogénico, tal como se observa en la figura 25 (Cuarto informe del IPCC).

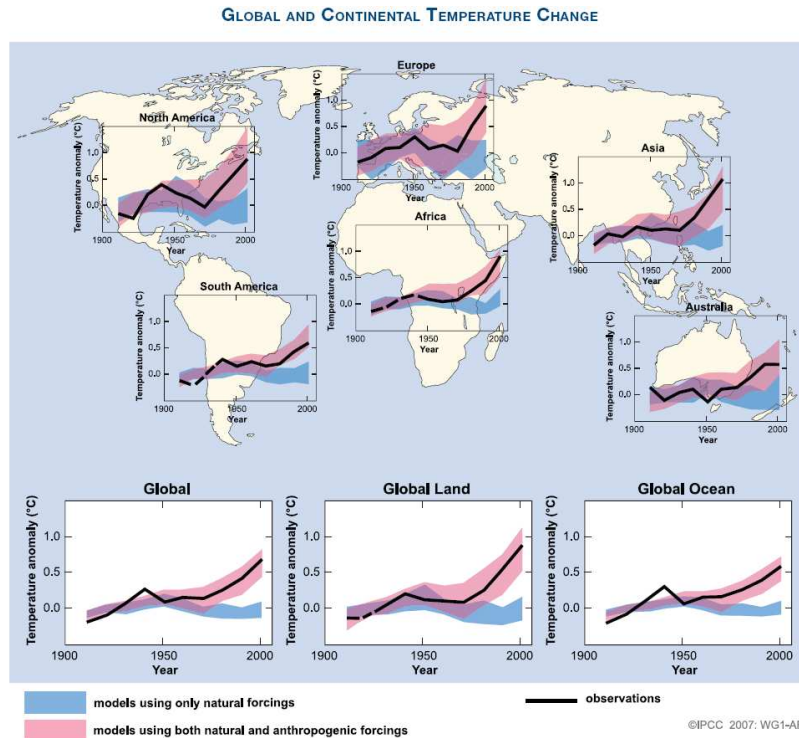
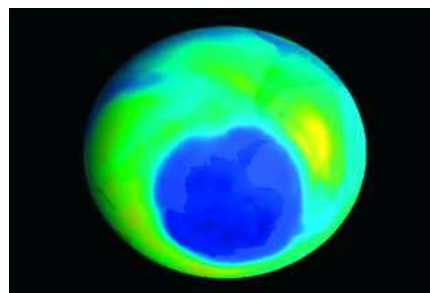


Figura 25. Comparación de los cambios observados a escala global y continental en la temperatura superficial con resultados de modelos usando forzamientos naturales y antropogénicos.

- Un estudio de la Oficina Meteorológica del Tíbet asegura que la temperatura media anual de la región aumenta 0,3 grados cada diez años, más que la media del país y del planeta, informó el periódico "China Daily". Sólo este invierno, la temperatura invernal media de la región fue 1,6 grados centígrados superior a la de la misma estación del pasado año. En algunas zonas del Tíbet, las temperaturas medias llegaron a ser 2,8 grados más altas que en inviernos anteriores, con un aumento mayor en el oeste y sureste de la región. La temperatura media de China crece 0,4 grados cada 100 años, mientras que la temperatura del planeta se ha incrementado 0,74 grados en los últimos cien años. La temperatura media en 2006 y 2001 fue de 3°C y 1,7°C más altas que en los años anteriores, mientras que cuatro de los cinco inviernos más calurosos en los últimos 35 años en el Tíbet se registraron después de 2000.

- Mediciones desde 1961 muestran que el promedio de la temperatura del océano se ha incrementado hasta profundidades de al menos 3000 metros y que el océano ha estado absorbiendo más del 80% del calor agregado al sistema climático. Tales calentamientos causan que el agua de mar se expanda, lo cual contribuye al aumento en el nivel del mar (Cuarto informe del IPCC).
- El promedio del contenido de vapor de agua en la atmósfera se ha incrementado desde al menos la década de los ochentas sobre el océano y los continentes, así como en la parte superior de la troposfera (Cuarto informe del IPCC).

- Los cambios observados respecto al calentamiento troposférico y al enfriamiento estratosférico, están asociados al incremento de los GEI por actividades humanas y a la destrucción del ozono estratosférico (Cuarto informe del IPCC).



- El nivel medio global del mar subió a una tasa de 1,8 mm por año para el periodo 1961 - 2003. **La tasa ha sido más rápida para el periodo 1993 -2003 y ha estado cercana a los 3,1 mm por año.** Por último, el aumento total en el nivel del mar observado en el siglo 20 fue de 17 centímetros (Cuarto informe del IPCC).



- Para el periodo 1993 -2003 las contribuciones de las diferentes fuentes al aumento en el nivel del mar de 3,1 mm por año han sido las siguientes:

Fuente de aumento en el nivel del mar	Tasa de aumento en el nivel del mar (mm/año)
La expansión térmica del océano	1,6 ± 0,5
Fusión de capas de hielo y glaciares	0,77 ± 0,22
Fusión de hielo en Groenlandia	0,21 ± 0,07
Fusión de hielo en el Antártico	0,21 ± 0,35
Suma de las contribuciones de las anteriores fuentes	2,8 ± 0,7
Aumento total observado	3,1 ± 0,7

Fuente: Cuarto informe del IPCC

- Los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han decrecido con respecto a los promedios en ambos hemisferios. El amplio decrecimiento en los glaciares y en las capas de nieve también están contribuyendo al aumento en el nivel del mar (Cuarto informe del IPCC). Un ejemplo claro es lo

observado en el glaciar de Upsala en la Patagonia Argentina (ver Figura 26).



Figura 26. a). Cambios observados en el Glaciar de Upsala en la Patagonia argentina. Diferencias entre 1928 y enero de 2004. Fuente: www.rinconesdelatlantico.com/num3/botanicos.html

- Las temperaturas promedio en el Ártico se han incrementado en casi dos veces la tasa promedio global en los pasados 100 años. Las temperaturas en el Ártico tienen alta variabilidad decadal y un periodo de calentamiento fue observado desde 1925 hasta 1945 (Cuarto informe del IPCC).
- Datos de satélite desde 1978 muestran que la extensión promedio anual del hielo de mar Ártico se ha reducido en un 2,7% por década, con las mayores disminuciones en verano con un valor de 7,4% por década (Cuarto informe del IPCC).
- Según las conclusiones del estudio del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas del Centro Nacional de Datos de la Nieve y el Hielo financiado por la Nasa, la capa de hielo que cubre el mar Ártico se derrite a un ritmo aún más rápido de lo que hasta a hora se estimaba. De acuerdo con el estudio, la capa de hielo del Ártico podría desaparecer estacionalmente en 2020, al menos 30 años antes de lo previsto. Esta predicción revela un deshielo mucho más rápido que el calculado en cualquiera de los 18 modelos informáticos utilizados por el IPCC en sus últimas evaluaciones. Mientras que los estudios anteriores afirmaban que en torno a la mitad de las pérdidas de hielo registradas entre 1979 y 2006 se debían a los GEI y la otra mitad a variaciones climáticas, este nuevo estudio asegura que los GEI podrían desempeñar un papel más importante del que se creía. En un modelo de simulación, el hielo de septiembre se encoge desde 6 millones de km² a 2 millones en un período de 10 años. Para 2040 sólo quedaría una pequeña superficie de mar de hielo eterno en las costas de Groenlandia y Canadá, mientras que la mayor parte de la cuenca ártica

estaría libre de hielo en septiembre. A medida que se retrae el hielo, el océano transporta más calor al Ártico y el mar abierto absorbe más luz del sol, acelerando aún más el ritmo de calentamiento.

- Se han observado tendencias a largo plazo (desde 1900 hasta 2005) en la precipitación en varias regiones. Incrementos significativos se han presentado en la parte oriental de norte y sur América, norte de Europa y norte y centro de Asia y las disminuciones en la precipitación se han observado en el Mediterráneo, norte y sur de África y algunas partes del sur de Asia (Cuarto informe del IPCC).
- Cambios en la precipitación y la evaporación sobre los océanos están aumentando la salinidad en aguas de latitudes bajas (Cuarto informe del IPCC).
- Los vientos provenientes del oeste en latitudes medias se han reforzado en ambos hemisferios desde 1960 (Cuarto informe del IPCC).

- Las evidencias muestran un incremento en la intensidad de la actividad de los ciclones tropicales desde 1970 en el Atlántico Norte, correlacionado con los incrementos en las temperaturas superficiales del mar tropical. Hay también sugerencias de incrementos en la intensidad de la actividad de los ciclones tropicales en otras regiones. Sin embargo, no es clara la tendencia en el número anual de ciclones tropicales (Cuarto informe del IPCC).



- La intensidad de los ciclones tropicales se ha incrementado. El año 2005 ha sido el que más tormentas tropicales ha registrado con un total de 26, lo que supera el máximo de 21 contabilizado en 1933. Igualmente, en el 2005 hubo 14 huracanes, lo que supera el máximo de 12 registrado en 1969, según los datos de la OMM, que destaca que siete de ellos alcanzaron una categoría de 3 o más en la escala de Saffir-Simpson. Desde 1995 se observa un marcado incremento en el número de tormentas tropicales que tienen lugar cada año en la cuenca atlántica.
- El número de huracanes que nacen en el Atlántico se ha duplicado en comparación con los del siglo pasado, debido al aumento de la temperatura marina, según científicos del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR) y el Instituto Tecnológico de Georgia, que también tuvieron en cuenta el cambio en los patrones del viento en las últimas décadas. Como ejemplo, los científicos señalan que el año 2006, que fue menos activo que los dos anteriores por la presencia del fenómeno

climático de El Niño en el Pacífico, habría sido considerado hace un siglo como una temporada de tormentas muy por encima de la media.

El análisis está centrado en los huracanes y las tormentas tropicales que nacen durante el verano en las costas occidentales de África y que adquieren fuerza y masa a medida que avanzan hacia el oeste y generalmente se internan en el Golfo de México o hacen impacto sobre las costas de Centroamérica y de Estados Unidos. Se identifican tres períodos desde 1900, durante los cuales la media de huracanes y tormentas tropicales aumentó de manera considerable. El primer período, entre 1900 y 1930, incluyó una media de seis tormentas tropicales, de las cuales cuatro fueron huracanes. Entre 1930 y 1940 la media anual fue de 10 ciclones, incluyendo cinco tormentas tropicales y cinco huracanes, mientras que de 1995 a 2005 el promedio llegó a 15, ocho de los cuales fueron huracanes y siete tormentas tropicales. "Estos números son un indicio concreto de que el cambio climático es un factor importante en el número de huracanes del Atlántico", dijo Greg Holland, científico del NCAR y uno de los autores del estudio. Por otra parte, indicó que "con los estándares actuales hasta un año de poca actividad de huracanes hubiese sido considerada normal y hasta activa en la primera parte del siglo pasado". Aunque se abstuvieron de hacer predicciones agoreras, los científicos advirtieron que el actual período no se ha estabilizado todavía, lo que significaría que la media en el número de huracanes podría ser más alta en los próximos años. Según los investigadores, el aumento en el número de huracanes y tormentas tropicales durante los últimos cien años es paralelo al de las temperaturas marinas, que ha sido de cerca de 1,7°C. Hasta ahora, los huracanes han representado alrededor del 55 por ciento de todos los ciclones tropicales que nacen en el Atlántico. No obstante, la proporción de huracanes más violentos, es decir, aquellos con vientos sostenidos de casi 200 kilómetros por hora, ha oscilado irregularmente y en los últimos años ha aumentado en relación con los menos intensos y las tormentas tropicales.

- Sequías más intensas y duraderas se han presentado desde 1970 sobre amplias áreas, particularmente en los trópicos y los subtrópicos. Incrementos en la sequedad, asociada a temperaturas más altas y disminuciones en las precipitaciones han contribuido a cambios en los regímenes de las sequías (Cuarto informe del IPCC).
- Se ha incrementado la frecuencia de precipitaciones más fuertes sobre la mayoría de las áreas continentales, lo cual es consistente con el calentamiento observado y los incrementos de vapor de agua atmosférico (Cuarto informe del IPCC).
- También se han observado cambios en las temperaturas extremas en los últimos 50 años, representado en noches y días más calientes en áreas

continentales, días fríos y heladas menos frecuentes y olas de calor más abundantes (Cuarto informe del IPCC).

- Se ha presentado un aumento en la decoloración de los arrecifes de coral, especialmente durante los fenómenos asociados al Niño (Cuarto informe del IPCC).
- Recientemente, el verano del 2003 ha sido uno de los más intensos que se han producido en el continente Europeo en las últimas décadas, dejando una cifra parcial de cerca de 20.000 muertos (OMS, 2003), principalmente personas de la tercera edad.
- Según el informe titulado: “El cambio climático y sus efectos en la salud humana”, presentado en diciembre del 2003 por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cambio climático es responsable de cerca de 150 mil muertes anuales. La previsión de los expertos de este organismo es que esta cifra de decesos se duplicará para el año 2030, la mayoría en los países en desarrollo. Además, según el informe de la OMS, el calentamiento global se encuentra en el origen del 2 por ciento de los casos de malaria en el mundo y de un porcentaje similar de los fallecimientos producidos por diarreas, en especial en los niños a causa de la deshidratación; también es causa de la salmonelosis y otras infecciones intestinales.
- Paralelamente, según datos presentados por el PNUMA en la novena Conferencia de las partes de la Convención sobre el cambio climático de la ONU (COP9, diciembre 1 al 12 del 2003), fruto de un estudio en colaboración con la aseguradora alemana Munich Re, los desastres naturales provocados por el cambio climático en el año 2003, han causado daños valorados en cerca de 60 mil millones de dólares. Tan sólo la ola de calor del verano del 2003 en Europa provocó pérdidas en la agricultura por unos 10 mil millones de dólares, mientras también fue ingente la devastación por las inundaciones de los ríos Huai y Yang Tze en China (cerca de 8 mil millones de dólares).
- Los tornados que asolaron la región central de Estados Unidos en el 2003 se incluyen igualmente entre los fenómenos que tienen su origen en el calentamiento global.
- De acuerdo a una investigación reciente del Instituto Smithsonian de Investigación Tropical, una variación anormal en el crecimiento de la flora amazónica se debe, precisamente, a que el cambio climático hace que disminuya la cantidad de dióxido de carbono que absorbe la selva, lo cual afecta también a las especies animales que la habitan y la polinizan. El estudio indica que los árboles más fuertes aumentaron su velocidad de crecimiento, mientras que los más débiles lo retrasaron. Eso se debe, a que

el dióxido de carbono pudo haber actuado como un fertilizante que favoreció a las especies con tendencia a crecer más rápido. Esto hizo que aumentara la competencia por el agua, luz y nutrientes, donde están perdiendo las especies de lento crecimiento, que son las más especializadas, ya que sobreviven en el interior de la selva y son los únicos árboles que pueden florecer y reproducirse en la sombra.

- También se han presentado colapsos de capas de hielo muy importantes en los polos, tal como el registrado en el Antártico en marzo de 2002 en el Cabo Foyen (atribuibles al calentamiento global), tal como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: <http://uwamrc.ssec.wisc.edu/amrc/iceberg.html>

- La información paleoclimática soporta la interpretación de que el calentamiento de la última mitad del siglo XX es inusual durante los últimos 1300 años. La última vez que las regiones polares estuvieron apreciablemente más calientes que el presente por un período prolongado (cerca de 125.000 años atrás), las reducciones en el volumen del hielo polar produjeron un incremento en el nivel del mar entre 4 a 6 metros (Cuarto informe del IPCC).
- Nada más facilista que pensar que el culpable del calentamiento global es el sol. Un estudio científico publicado en el periódico de la Academia británica de las Ciencias en el 2007, confirmó que el calentamiento climático observado en las últimas décadas no se debe al astro rey, contradiciendo una vez más a quienes aún dudan del origen humano de ese fenómeno. El sol ha estado menos activo desde 1985, mientras el promedio de la temperatura de la Tierra ha seguido aumentando, según el estudio llevado a cabo por un grupo de investigadores suizos y británicos. “En los últimos veinte años, todas las tendencias en el sol que hubieran podido tener influencia sobre el clima de la Tierra, se movieron en dirección contraria a la susceptible de explicar el aumento global del promedio de la temperatura”, señalaron los expertos del laboratorio británico de Rutherford Appleton y del Centro Mundial de Radiación de Davos, en Suiza.

- El incremento observado en la temperatura promedio global desde la mitad del siglo 20 es muy probablemente debido al incremento observado en las concentraciones de GEI asociadas a actividades antropogénicas. Esta es una de las principales conclusiones del cuarto reporte de evaluación del IPCC. También se concluye que hay evidencias de la influencia humana sobre otros aspectos del clima, incluyendo el calentamiento del océano, aumento en el promedio de las temperaturas a nivel continental y variaciones en los vientos y en las temperaturas extremas (Cuarto informe del IPCC).
- El calentamiento observado en la atmósfera y en el océano, junto con la pérdida de masas de hielo, soportan la conclusión de que es extremadamente improbable que el cambio climático global de los pasados 50 años pueda ser explicado sin forzamientos externos y es muy probable que este no se deba únicamente a causas naturales (Cuarto informe del IPCC).

5.2 A NIVEL NACIONAL

El calentamiento global es un hecho y en el país los efectos ya son evidentes. Según datos del Ideam, la temperatura del aire aumentó entre 0,1 y 0,2 °C por decenio durante la segunda mitad del siglo XX. La señal más clara es el retroceso de los nevados en el país. En 1974 se disponía de un área de aproximadamente 94 kilómetros cuadrados (km²), en 2003 esta área disminuyó a 55 km². Cada año, estas zonas pierden entre 2% y 3% de su superficie. Por otro lado, en las costas colombianas se ha registrado una tendencia al aumento del nivel medio del mar de tres a cuatro milímetros anuales en el Pacífico y uno o dos milímetros en el Caribe.

5.2.1 GENERACIÓN DE INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO

En lo que tiene que ver con algunas evidencias de cambio climático en Colombia, la Subdirección de meteorología del IDEAM, ha generado indicadores en algunas ciudades del país con base en el análisis de las series históricas de información de precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínima y máxima del día), utilizando el programa RCLIMDEX.

Uno de los resultados que se obtuvo con el indicador relacionado con la precipitación total anual es que en gran parte del país hay tendencia al incremento de la precipitación anual (señalado con estrellas azules) mientras que hacia el suroccidente se presenta una tendencia a la disminución, así como en zonas de la Cordillera oriental (Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta) y en la Isla de San Andrés (ver Figura 27).

El análisis de las tendencias es un poco variable ya que cambia con el periodo analizado tal como se muestra en la figura 28, en donde en las figuras a) y b)

aunque hay una tendencia general negativa, la media móvil (línea punteada) en los últimos 10 años presenta una tendencia al aumento en los aeropuertos de Cali y San Andrés. Por otro lado, en las figuras c) y d) se presenta una tendencia general positiva pero en los últimos años se presenta una tendencia en la media móvil negativa.

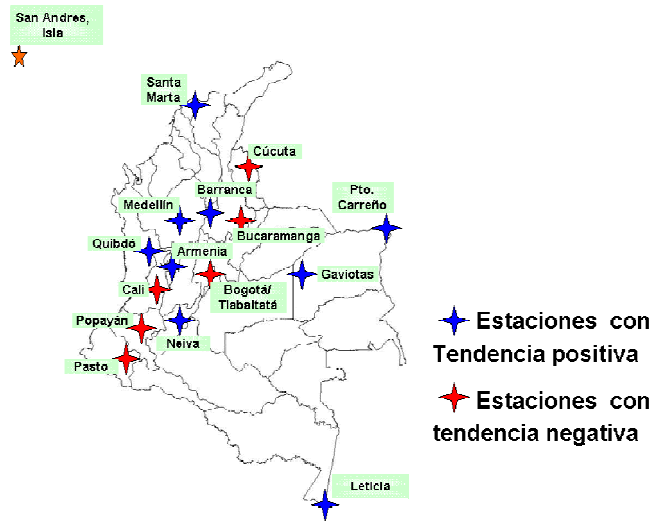


Figura 27. Indicador relacionado con la precipitación total anual.

Debido a que es muy complicado analizar uno por uno los indicadores generados por el programa (el cual genera 27 indicadores por estación) para todas las estaciones, estos se agrupan y se analizan por ítem tal como se muestra en la tabla 3 y que se comentan a continuación:

1. En la mayoría de las estaciones hay una tendencia al aumento de las precipitaciones de alta intensidad (tormentas o aguaceros), excepto en Bucaramanga y Pasto. Las estaciones que presentan mayor significancia estadística son Medellín y Santa Marta.
2. En la mayoría de las estaciones hay una tendencia al aumento de las temperaturas máximas y mínimas, lo que quiere decir que tanto las noches como los días son más calientes. La anterior señal no es muy clara en ciudades ubicadas en altura (Medellín y Armenia), así como en altiplanos (donde están ubicadas las ciudades de Bogotá y Pasto).

En el comportamiento de la temperatura máxima la que tiene mayor significancia es Santa Marta y en la temperatura mínima es Leticia.

3. En el Altiplano Cundiboyacense se determinó que hay una tendencia a la disminución de periodos fríos (heladas) en las horas de la noche y madrugada. Lo anterior concuerda con la realidad, ya que el periodo típico de heladas frecuentes y más intensas (tres primeros meses del año) en esta zona, durante el año 2006, no fue significativo; no se presentaron días con heladas.

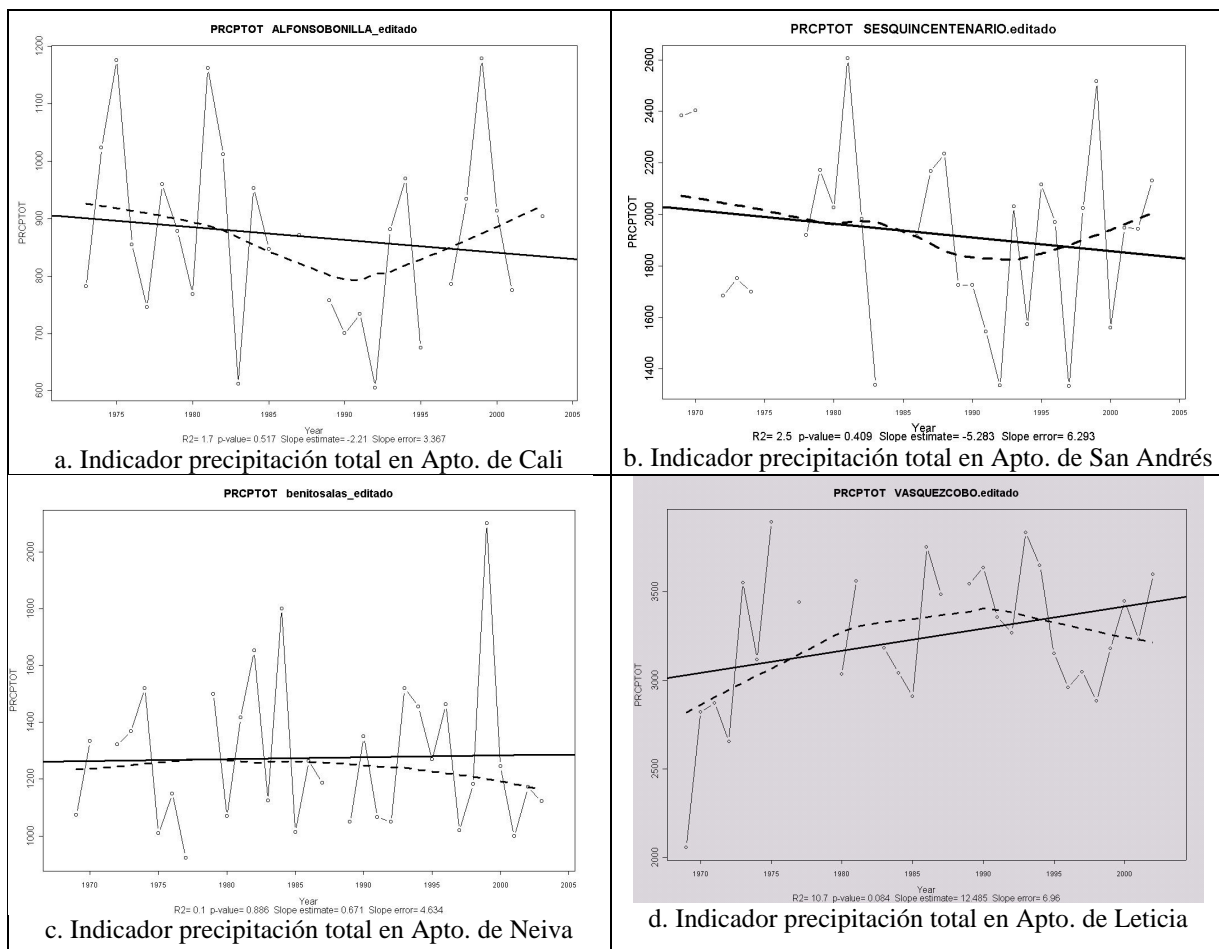


Figura 28. Ejemplo de cambios en las tendencias dependiendo del periodo de la serie escogido.

Tabla 3. Resumen de las tendencias generados por el Rclimindex para Colombia

ESTACIÓN	Precipitación total año	Precipitaciones altas (Aguaceros)	Temperaturas máximas	Temperaturas mínimas
Apto. Sesquicentena/SanAndres	(-)	+	+	+
Apto. Eldorado/Bogotá	(-)	+	+	+
Apto. Camilo Daza/Cúcuta	(-)	+	+	+
Apto. Palonegro/Bucaramanga	(-)	(-)	+	+
Apto. Alfonso Bonilla Aragón/Cali	(-)	+	+	+
Apto. Antonio Nariño/Pasto	(-)	(-)	+	+
Apto. Vásquez Cobo/Leticia	+	+	+	+
Apto. El Eder/Armenia	+	+	+	+
Apto. El Caraño/Quibdó	+	+	+	+
Apto. Benito Salas/Neiva	+	+	+	+
Las Gaviotas	+	+	+	+
Apto. Olaya Herrera/Medellín	+	+	+	+
Apto. Simón Bolívar/Santa Marta	+	+	+	+
Tibaitata	(-)	+		
Apto. Guillermo León V./Popayán	(-)	+		
Apto. Yariguies/Barranca	+	+		
Pto Carreño	+	+		

Nota: las celdas con color gris indican que la mayoría de los indicadores de esa agrupación tienen una alta significancia estadística.

4. En Chocó que es la zona más lluviosa del país y una de las más húmedas del mundo, se observa una tendencia al aumento de los periodos húmedos.

5.2.2 OTRAS MANIFESTACIONES DEL CAMBIO CLIMATICO EN COLOMBIA

TENDENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LAS CUATRO PRINCIPALES CIUDADES DE COLOMBIA

En la Subdirección de Meteorología del IDEAM se tomaron las series mensuales de temperatura media, máxima absoluta, mínima absoluta, máxima media y mínima media de las estaciones Aeropuerto Eldorado - Bogotá, Aeropuerto Ernesto Cortissoz - Barranquilla, Aeropuerto Olaya Herrera - Medellín y el Aeropuerto Bonilla Aragón – Cali. Las series se analizaron desde el año en que entró a operar la estación hasta el año 2000 (León, Gloria - 2000).

- Aeropuerto Ernesto Cortissoz: las series temperatura media, máxima absoluta y máxima media evidencian cambios positivos con tasa relativas grandes en la temperatura máxima, siendo las más altas (0.075°C/año) de todas las series de temperatura media tratadas en este trabajo. La temperatura mínima exhibe suaves tendencias decrecientes.

ESTACION	MEDIA	MAXIMA	MAXIMA MEDIA	MINIMA	MINIMA MEDIA
A. Ernesto Cortissoz	+0.020	+0.106	+0.075	-0.007	-0.011
A. Olaya Herrera	+0.057	-0.016	-0.003	+0.056	+0.043
A. Eldorado	+0.018	+0.051	+0.036	+0.032	+0.010
A. Alfonso Bonilla A.	+0.014	+0.017	+0.031	+0.023	+0.020

- Aeropuerto Olaya Herrera: la temperatura media tiene el aumento más alto de las cuatro estaciones estudiadas, la temperatura máxima presenta tasas negativas muy pequeñas, mientras que las temperaturas mínimas registran tasa relativas grandes de aumento de temperatura, consideradas como la más alta de las cuatro estaciones del presente trabajo.

- Aeropuerto Eldorado: Presenta tendencia positiva en las temperaturas medias y extremas. Las tasas de tendencia revelan que las temperaturas absolutas registran pendientes más altas que sus valores medios.

- Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón: Se registran tendencias crecientes tanto en las temperaturas medias como extremas en rangos que varia entre 0.014°C/año a 0.031°C/año.

En general todas las estaciones presentan un aumento de la temperatura media con tasas que decrecen desde el norte al sur del país, con excepción del aeropuerto Olaya Herrera donde las tasas alcanzan más del doble de los valores obtenidos en las otras estaciones. Una de las posibles causas de la mayor

tendencia en el aeropuerto de Medellín es la de que el aeropuerto queda ubicado dentro de la misma ciudad y el efecto de isla de calor generado por la urbanización contribuye a mayores valores de calentamiento.

5.2.3 RETROCESO DE LOS GLACIARES EN COLOMBIA

En general los glaciares son sensibles a cambios en la temperatura atmosférica por su proximidad termal al derretimiento. El retroceso e incluso la extinción de glaciares en la Tierra ha sido con frecuencia utilizada como un indicador del aumento de temperatura del pasado (Blair et al., 1996). Específicamente los glaciares en la franja ecuatorial parecen ser buenos indicadores de las variaciones del clima mundial debido a su rápida reacción ante variaciones de temperatura, radiación y precipitación, por lo que diversos cambios climáticos han podido ser explicados en lugares donde existen registros naturales de gran extensión de tiempo en áreas glaciares y periglaciares. Los modelos climáticos desarrollados a nivel mundial han sugerido que el control de la evolución de las masas glaciares está dado más por las temperaturas que por las precipitaciones. El IPCC presume que las temperaturas más cálidas asociadas a cambio climático son la causa del derretimiento glaciar a nivel mundial (Watson et al., 1996).

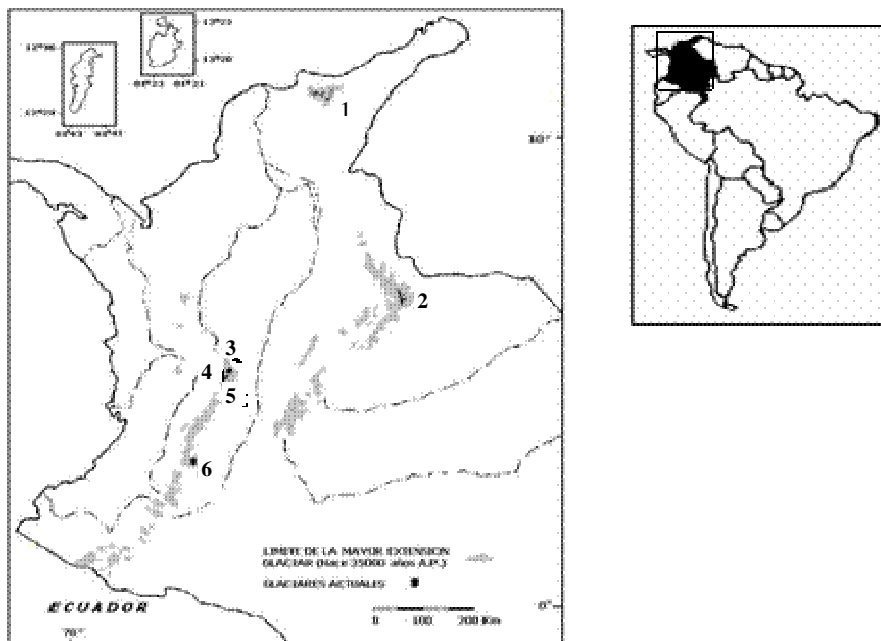
A partir de la revolución industrial un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero ha generado una alteración en el balance radiativo y con ello un incremento de la temperatura media global del aire. Este calentamiento ha modificado los elementos climatológicos, causando un cambio climático que ha afectado entre otros sistemas naturales los glaciares a nivel mundial.

El volumen de hielo en un glaciar y su correspondiente área superficial, espesor y longitud, es determinado por el balance entre las entradas (acumulación de la nieve y del hielo) y las salidas (que derriten la superficie de la nieve y del hielo). Mientras que el clima cambia, el equilibrio entre las entradas y las salidas varía, dando como resultado un cambio en el espesor y en el avance o retiro del glaciar. La temperatura, precipitación, radiación solar, humedad, velocidad del viento y otros factores físicos tales como la pendiente y albedo de la superficie del glaciar, afectan el equilibrio entre las entradas y las salidas del mismo. La variabilidad de parámetros climáticos como el brillo solar entre otros, son muy importantes en el decrecimiento de los glaciares tropicales. Pocas cantidades de horas de exposición de un glaciar a los rayos del sol, contribuyen a la formación de nieve a nevisca atenuando el proceso de deglaciación. Opuesto a lo anterior, cuando existe poca nubosidad, la radiación solar actúa libremente sobre la superficie glaciar incrementando de gran forma el derretimiento del hielo.

En Colombia las masas glaciares están presentando una marcada tendencia hacia la desaparición. Como resultado de ello, ocho áreas nevadas desaparecieron en el pasado siglo, en la mayoría de los casos por efectos atmosféricos y aunque en épocas de lluvia estos y otros picos altos se cubren temporalmente de nieve, la formación de hielo es nula. Datos recientes obtenidos a través de imágenes de

satélite (2002-2003) muestran que las actuales masas glaciares de Colombia suman un área aproximada de 55 Km², las cuales presentan desde el final de la Pequeña Edad Glaciar (Neoglacial, siglos XVII a XIX) una constante disminución de su área y pérdida de volumen que se relaciona con periodos cálidos como el Interglacial actual y el incremento térmico en la atmósfera observado a partir de los años 40, lo cual ha acelerado el proceso de fusión. Es así como un 50% del área glaciar se ha perdido en los últimos 50 años con una pérdida estimada de 1 a 3% anual, la cual se acelera ante eventos climáticos extremos como el Niño y se espera, por lo tanto, que a finales del siglo o antes los glaciares en Colombia estén extintos. Específicamente, medidas de retroceso del frente glaciar en el Santa Isabel y El Cocuy, indican una pérdida longitudinal de 15 a 20 metros por año en promedio, el cual aumenta considerablemente durante estos periodos climáticos extremos.

Se ha logrado conocer la evolución reciente de los actuales nevados colombianos gracias a los trabajos realizados por varias instituciones colombianas. Actualmente se tienen en Colombia seis masas glaciares a saber (ver Figura 29):



1. Sierra Nevada de Sta Marta (macizo montañoso independiente, 5.775m./área = 7,94 Km²)
2. Sierra Nevada El Cocuy (Cordillera Oriental, 5.490m./área = 19,80 Km²)
3. Volcán Nevado del Ruiz (Cordillera Central, 5.400m./área = 10,32 Km²)
4. Volcán Nevado Santa Isabel (Cordillera Central, 5.110m./área = 3,33 Km²)
5. Volcán Nevado del Tolima (Cordillera Central, 5.280m./área = 1,0 Km²)
6. Volcán Nevado del Huila (Cordillera Central, 5.655m./área = 12,95 Km²)

Figura 29. Los glaciares en Colombia. Fuente: tomado y modificado de Flórez, 1992.

Un ejemplo del fuerte desequilibrio de los glaciares colombianos y su dinámica actual se puede observar en las figuras 30 y 31 para la Sierra Nevada de El Cocuy y el volcán nevado Santa Isabel.

Trabajos de campo realizados por el IDEAM demuestran que un fenómeno como "El Niño" (que para Colombia incrementa las temperaturas) acelera la velocidad de retroceso glaciar y es común que las partes bajas del glaciar estén desprovistas de nieve durante la ocurrencia de ellos.

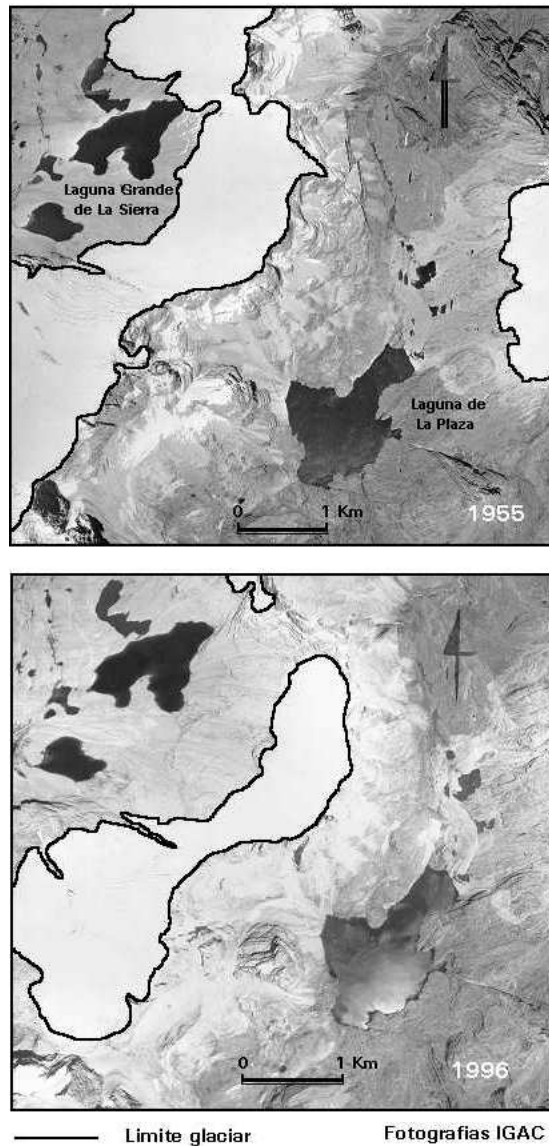


Figura 30. Esquema que muestra la pérdida glaciar en la Sierra Nevada de El Cocuy (área de las lagunas La Plaza y Grande de la Sierra), mediante el análisis de fotografías aéreas en 1955 y 1996.

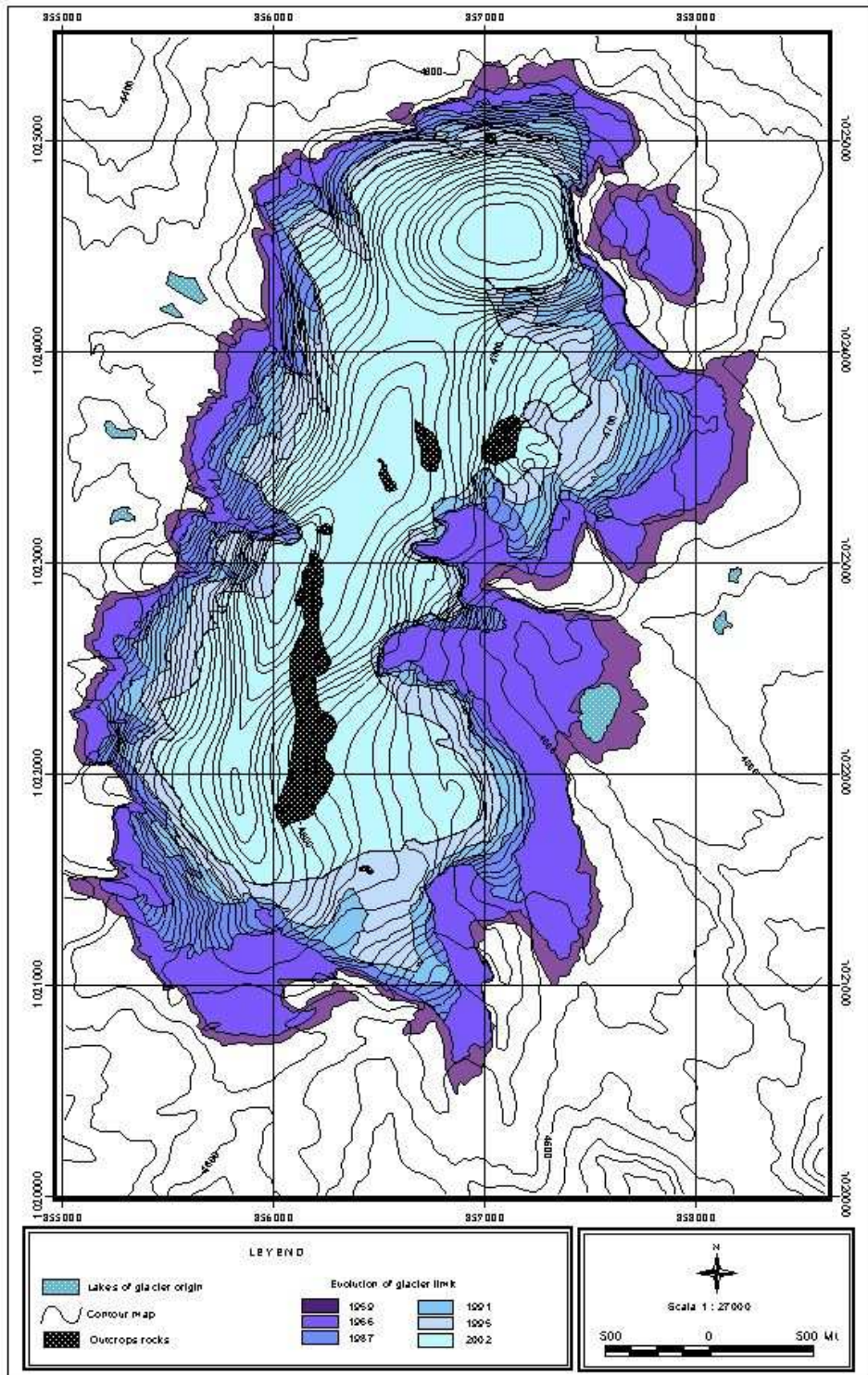


Figura 31. Evolución del área glaciar en el volcán nevado Santa Isabel.

6. IMPACTOS PROYECTADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

6.1 A NIVEL GLOBAL

A continuación se presentan algunos impactos proyectados del cambio climático relacionados principalmente en el documento resumen del Grupo I del IPCC para el Cuarto Reporte de Evaluación:

- Para las siguientes dos décadas, se proyecta un calentamiento de cerca de 0,2°C para el rango de escenarios de emisión (SRES-Reporte especial sobre escenarios de emisión, 2000) del IPCC. Incluso si las concentraciones de todos los GEI y aerosoles se mantuvieran constantes a los niveles del año 2000, se esperaría un calentamiento adicional de cerca de 0,1°C por década (Cuarto informe del IPCC).
- Es probable un aumento en el promedio de la temperatura superficial global en un rango entre 2°C y 4,5 °C cuando se presente una duplicación en las concentraciones de CO₂ respecto al valor preindustrial (280 ppm), el cual se podría alcanzar a finales del siglo XXI. El mejor valor estimado es de 3°C y es muy poco probable que el aumento sea inferior a 1,5°C. Los cambios en el vapor de agua y el papel que juegan las nubes en el sistema climático, representan las más grandes fuentes de incertidumbres (Cuarto informe del IPCC).
- Si continuaran las emisiones de los GEI a las tasas actuales o por encima de estas, se produciría un calentamiento adicional que induciría muchos cambios en el sistema global del clima durante el siglo XXI que hace muy probable que sean más grandes que los observados durante el siglo XX (Cuarto informe del IPCC).
- Para el Cuarto Reporte del IPCC se evaluaron varios modelos que utilizaron los diferentes escenarios de emisión (SRES) del IPCC. El promedio global proyectado del calentamiento superficial para el final del siglo 21 (2090-2099) relativo al periodo 1980-1999 se muestra en la tabla 1 para los escenarios de emisión mas altos (A1F1 y A2) y mas bajos (como el B1) del SRES. En la tabla 4 también se presentan los aumentos proyectados en el nivel del mar a finales del siglo 21 para los mismos escenarios en mención. En la figura 32 se pueden observar gráficamente el comportamiento en el aumento de las temperaturas para los diferentes escenarios (Cuarto informe del IPCC).

Tabla 4. Proyecciones en el aumento del promedio de la temperatura superficial global y el aumento en el nivel del mar a finales del siglo 21.

Caso	Cambio en la temperatura (°C en periodo 2090-2099 respecto a 1980-1999) ^a		Aumento en el nivel del mar (metros en periodo 2090-2099 respecto a 1980-1999)
	Mejor estimación	Rango probable	Rango de los modelos excluyendo los futuros cambios en la dinámica del flujo del hielo.
Concentraciones constantes al año 2000	0,6	0,3 – 0,9	NA
Escenario B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Escenario A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Escenario B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Escenario A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Escenario A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Escenario A1F1	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

^a Estas evaluaciones son realizadas desde simples modelos climáticos, modelos del sistema Tierra de complejidad intermedia hasta modelos de circulación general atmósfera –océano.
Fuente: Cuarto informe del IPCC.

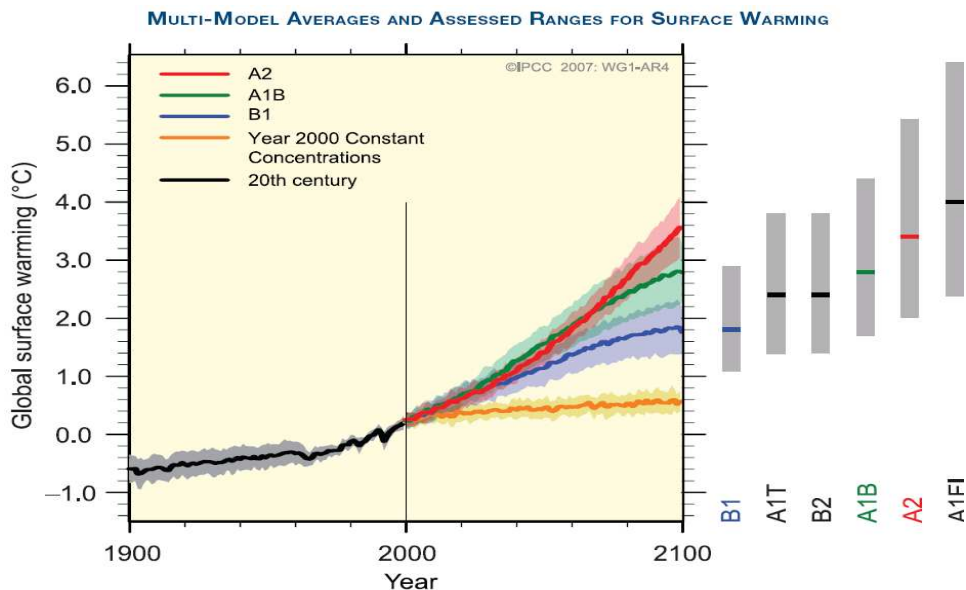


Figura 32. Proyecciones en el aumento del promedio de la temperatura superficial global.

- Los escenarios de aumento de temperatura proyectados para el siglo 21, muestran patrones geográficos similares a los observados en las últimas décadas. Se espera que el calentamiento más grande se presente sobre los continentes y en las latitudes más altas del hemisferio norte y menos sobre la parte oceánica en el hemisferio sur y al norte del Océano Atlántico (ver Figura 33) (Cuarto informe del IPCC).
- Si el forzamiento radiativo se estabilizara en el 2100 a niveles de los escenarios B1 (bajo) o A1B (medio), se esperaría un aumento adicional en la temperatura media global de aproximadamente 0,5°C para el año 2200 (Cuarto informe del IPCC).

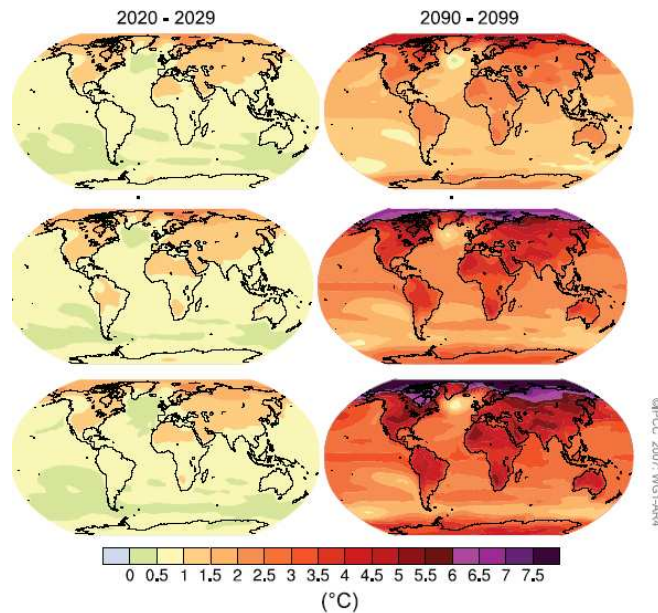


Figura 33. Cambios proyectados en la temperatura superficial para los periodos 2020- 2030 y 2090-2099 con respecto al periodo 1980-1999. Las proyecciones son los promedios de varios modelos de circulación general atmósfera-océano para los escenarios B1 (bajo), A1B (medio) y A2 (alto). Fuente: Cuarto informe del IPCC.

- Los efectos del aumento previsto de entre 1,5 y 2,5°C en la temperatura ambiente hasta 2050, específicamente tendrá algunos aspectos negativos y positivos. Alaska, Canadá, Siberia y Escandinavia verán menos muertes por frío, más lluvias y una mejoría de la productividad de los cultivos. En América Latina, el derretimiento de glaciares afectará los ecosistemas de alta montaña y agravará la escasez de agua. El aumento en el nivel de los mares afectará a millones de personas en los deltas del sureste asiático, en pequeñas islas y en Egipto. El desplazamiento de las lluvias del trópico hacia los polos aumentará las sequías en África y convertirá zonas de la Amazonia en amplias sabanas.
- El hombre será responsable del aumento de la temperatura del planeta durante los próximos años, pero factores naturales como mares más fríos podrían suavizar ese efecto según el primer pronóstico del clima global a largo plazo del Centro Hadley de Gran Bretaña, en el que se analiza factores naturales y humanos detrás del cambio climático y se vaticina que 2014 será 0,3° Celsius más cálido que 2004, a pesar del efecto enfriador de agentes naturales, como temperaturas del mar más bajas. "La variabilidad interna contrarrestará parcialmente la señal antropogénica de calentamiento global durante los próximos años", dijo el informe. Pero mientras las variaciones en la temperatura de los mares e incluso ceniza volcánica bloqueadora de la radiación solar podrían suavizar el impacto de la continua contaminación del planeta por parte del hombre en algunas zonas, el calentamiento global general aún es inevitable. "El clima continuará calentándose, con una predicción de que al menos la mitad de los años posteriores a 2009 excederán el año más cálido actualmente registrado (el cual es 1998)",

reveló el estudio. Proyecciones previas sobre el cambio climático dieron cuenta de factores externos, como cambios en la radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre, y el efecto del hombre, pero no consideraban variaciones de influencias naturales sobre el clima dentro de la atmósfera de la Tierra, según el ente meteorológico. "Las apariciones de El Niño, por ejemplo, tienen un efecto significativo en las predicciones a corto plazo. Al incluir dicha variabilidad interna, mostramos una mejora substancial en las predicciones de la temperatura sobre la superficie.

- Incrementos en la concentración atmosférica del CO₂ generarán un aumento en la acidificación del océano. De acuerdo a las proyecciones basadas en los escenarios SRES, se estima una reducción entre 0,14 y 0,35 unidades en el promedio global del pH en la superficie del océano durante el siglo 21, adicional al decrecimiento actual de 0,1 unidades desde la era preindustrial (Cuarto informe del IPCC).
- La capacidad de absorción de dióxido de carbono por los ecosistemas llegará a su pico más alto antes de 2050. Cerca del 20 a 30% de especies animales y de flora estarán en alto riesgo de extinción si los incrementos de la temperatura global excede 1,5-2,5°C. En general, la productividad de los cultivos se incrementará para temperaturas de entre 1°C-3°C, pero se proyecta una caída.
- Es muy probable que las olas de calor y los eventos extremos de precipitación continuarán siendo más frecuentes (Cuarto informe del IPCC).
- En cuanto a la precipitación, es muy probable que se presenten aumentos en las latitudes altas de ambos hemisferios, mientras que es probable que se presenten disminuciones en la mayoría de las regiones subtropicales de la Tierra, en concordancia con lo observado en tendencias recientes (ver Figura 34) (Cuarto informe del IPCC).

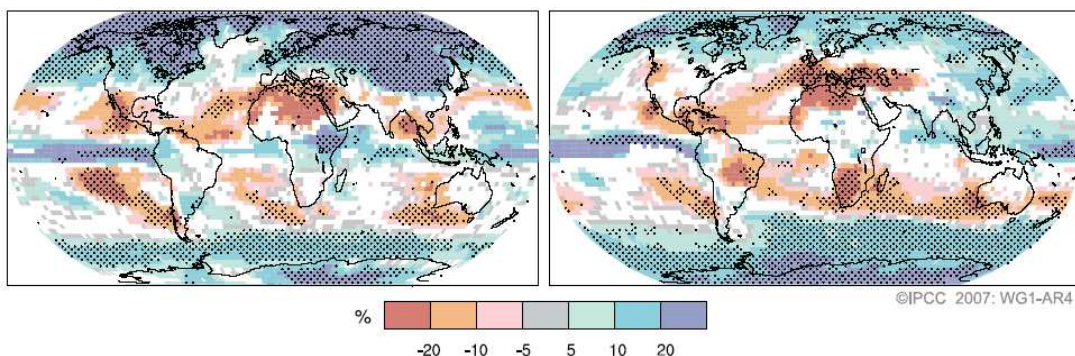


Figura 34. Cambios relativos en la precipitación (en porcentaje) para el periodo 2090-2099 con respecto al periodo 1980-1999. Las proyecciones son los promedios de varios modelos basados en el escenario A1B para diciembre a febrero (izquierda) y entre junio y agosto (derecha). Las áreas blancas son donde menos del 66% de los modelos concuerda en el signo del cambio y áreas punteadas son donde más de 90% de los modelos concuerda en el signo del cambio.

Fuente: Cuarto informe del IPCC.

- Basado en un amplio rango de modelos, es probable que los futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) sean más intensos, con velocidades del viento más altas y valores de precipitación asociados más altos. Lo anterior está asociado a la elevación de las temperaturas de la superficie del océano tropical (Cuarto informe del IPCC).
- El calentamiento global podría desencadenar huracanes o ciclones tropicales sobre el Mar Mediterráneo, amenazando a una de las regiones costeras más densamente pobladas del mundo, según científicos europeos. Los huracanes actualmente se forman en la zona tropical del Atlántico y en raras ocasiones llegan a Europa, pero un nuevo estudio revela que un incremento de 3°C en las temperaturas medias podría activarlos en un futuro en el Mediterráneo. Muchos modelos muestran una intensidad creciente de tormentas y, si se combina esto con los niveles crecientes del mar, como está previsto, podría ser perjudicial para muchos emplazamientos costeros. Entre los factores que influyen en los huracanes están el calentamiento de la superficie del mar y la inestabilidad atmosférica.
- Si el forzamiento radiativo se estabilizara en el 2100 a niveles de los escenarios B1 (bajo) o A1B (medio), se esperaría, que solo la expansión térmica genere un aumento en el nivel del mar entre 0,3m y 0,8m para el año 2300 con respecto al periodo 1980-1999 (Cuarto informe del IPCC).
- La contracción del hielo en Groenlandia contribuirá al aumento en el nivel del mar después del año 2100. Los modelos actuales sugieren un aumento en las pérdidas de las masas de hielo más rápidamente que las ganancias debidas a la precipitación. Si el balance negativo de las masas superficiales se mantiene por varios cientos de años se produciría la completa eliminación de las masas de hielo en Groenlandia lo que contribuiría a un aumento en el nivel del mar de cerca de 7 metros (Cuarto informe del IPCC).
- Se espera que el hielo del mar se reduzca en el Ártico y el Antártico bajo todos escenarios SRES. En algunas proyecciones, el hielo de mar desaparece casi enteramente a finales del verano en el Ártico a finales del siglo XXI (Cuarto informe del IPCC).
- Cientos de millones de personas se verán afectadas por el deshielo y la disminución de glaciares y cubiertas de nieve como consecuencia del cambio climático, advirtió el PNUMA. "Sólo la pérdida de nieve y de los glaciares de las montañas de Asia afectaría 40% de la población mundial", señala el informe 'Perspectiva Global sobre la Nieve y el Hielo', presentado en Nairobi, sede del PNUMA, la víspera del Día Mundial del Medio Ambiente del año 2007. Pero otras áreas, como los Pirineos, los Alpes o los Andes, también se verán muy dañados por el impacto, añade el documento, que analiza las tendencias actuales y posible evolución futura de los ecosistemas

de hielo y nieve, como glaciares, ríos y lagos helados. "El cambio climático es un círculo vicioso en lo que respecta a estos ecosistemas: temperaturas más altas llevan a menos hielo y nieve y ello causa que la tierra y el mar tengan que absorber más luz solar, lo que aumenta aún más las temperaturas", explicó Christian Lambrechts, de la División de Alerta Previa del PNUMA y uno de los coordinadores del informe. Los efectos de alcance global incluirán cambios sustanciales en la disponibilidad de agua para beber y para riego, así como un aumento de los niveles del mar, cambios en los patrones de circulación del agua en los océanos, y la amenaza a la supervivencia de especies de flora y fauna que sobreviven en dichos ecosistemas, entre otros.

- Respecto al aumento en el nivel del mar, el país más vulnerable en Europa sería Holanda, aunque también se verían afectados Italia y España.
- Los científicos también subrayan el impacto que ya tiene el cambio climático en los Alpes, que constituye la mayor reserva de agua dulce de Europa, utilizada para el consumo humano, la generación de energía, la agricultura y la industria, principalmente. Mediciones realizadas en algunas de las principales estaciones alpinas indican que la temperatura media en la región de los Alpes ha aumentado en 6,7°C en los últimos cien años. Los recursos hídricos que se originan en la parte central de los Alpes llegan hasta el Mediterráneo, el Adriático, el mar Negro, así como al Atlántico Norte, por lo que todo lo que allí ocurra tendrá un impacto significativo no sólo en las zonas adyacentes, sino también en zonas más alejadas.
- En términos de precipitaciones en Europa, científicos pronostican un aumento durante la estación invernal y una "muy fuerte disminución" en el verano, "como se observó durante la ola de calor de 2003". Como consecuencia, "porciones importantes" de varios glaciares alpinos desaparecerán, lo que producirá la disminución del caudal de los ríos, ya que los glaciares son su principal fuente de agua durante los periodos más calientes y secos del año. Sobre el impacto en la biodiversidad de los Alpes, hay evaluaciones que señalan que hasta el 60 por ciento de la flora alpina estaría en riesgo de extinción hacia finales del siglo XXI con un aumento de la temperatura entre 1,5 y 2,5°C. En Europa, esa amenaza involucraría 30% de especies de plantas y animales por el trastorno que esa subida de temperatura supondría para sus ecosistemas.
- Los países ricos pueden pagar los costos de adaptación y mitigación, pero los pobres no. Holanda y Reino Unido invierten 1.000 millones de dólares anuales en adaptarse; Tokio hizo un túnel de 6,5 km para drenar posibles inundaciones; semillas genéticamente modificadas ayudan a los granjeros de E.U.

- La salud de millones de personas será afectada por el cambio climático: incremento de desnutrición, muertes, enfermedades y lesiones asociadas con olas de calor, inundaciones, tormentas, incendios, y sequías; incrementos en las enfermedades diarreicas y respiratorias, por altas concentraciones de ozono a nivel del suelo; y la distribución espacial alterada de algunos de los agentes vectores de enfermedades infecciosas. Para Latinoamérica se espera que, hacia la mitad del siglo, los incrementos de temperatura y la caída asociada en las aguas superficiales lleven a un reemplazo gradual de los bosques tropicales por sabanas en el este de la Amazonia. En las zonas secas, el cambio climático llevará a la salinización y desertización de la tierra agrícola. La productividad de algunos cultivos importantes y la de la cría de animales caerán, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. Se prevé que el aumento del nivel del mar cause un riesgo creciente de inundaciones en áreas bajas. Los países pobres, como los de África, serán los que menos preparados estén para enfrentar el cambio climático.
- El calentamiento global afectará de manera devastadora la producción de alimentos en los países en vías de desarrollo, aumentando el riesgo de sequías y de hambrunas en naciones que ya tienen problemas para abastecer de comida a su población, dijo la ONU. Sin embargo, un aumento del efecto invernadero podría acrecentar la producción de alimentos en los países industrializados, que por lo general tienen climas más fríos, Según la FAO, “es posible que el rendimiento de las cosechas se acreciente en latitudes más altas si la temperatura global promedio aumenta entre 1 y 3°C, dependiendo del cultivo, y luego disminuya más allá de ese nivel”, señaló la FAO. “A latitudes más bajas, especialmente en los trópicos secos, es posible que disminuya el rendimiento de las cosechas, inclusive si hay un pequeño ascenso de las temperaturas”, indicó. “Y eso podría aumentar el riesgo de hambrunas”.
- En las circunstancias de un cambio climático relativamente rápido, lo que está ocurriendo y va a ocurrir en las próximas décadas, se generará un desfase entre los cambios y la capacidad de adaptación de la flora y la vegetación. Este desfase será probablemente la causa de un periodo de extinción masiva y de importantes cambios en las zonas y tipos de vegetación en el planeta. En principio, los modelos de predicción, como por ejemplo el ECHAM-1 del Instituto Max Plank, indican un aumento del uso de la Tierra hacia las zonas polares para la agricultura y la consecuente reducción en la superficie de los bosques boreales. Esta reducción es considerada en los modelos como severa debido a la imposibilidad de migración de estos bosques hacia latitudes más altas. También en las zonas tropicales una subida de sólo 3°C en la temperatura implicará un cambio drástico, aumentando las áreas desérticas y semi-desérticas en detrimento de los bosques tropicales y subtropicales. En las zonas templadas la vegetación dominante será, en vez de bosque de hoja caduca una sabana

de vegetación xérica parecida a la vegetación de la zona subsahariana actual. En este modelo, la biomasa terrestre declinará durante al menos, los dos primeros siglos.

6.2 A NIVEL NACIONAL

Los efectos del cambio climático que constituyen de manera particular amenazas para diversos elementos dentro del territorio nacional y el grado de vulnerabilidad de éstos a las posibles amenazas, fueron evaluados en forma preliminar en la Primera Comunicación Nacional de Colombia⁷, cuya elaboración fue coordinada por el IDEAM. Ellas se presentan en forma resumida a continuación.

Amenazas. El territorio nacional puede verse afectado por el incremento del nivel del mar, las modificaciones de la temperatura media del aire y de la precipitación. En el incremento del nivel del mar, se estableció que hacia el 2050-2060 podría presentarse un aumento alrededor de 40 o 60 centímetros en las costas Caribe y Pacífico colombianas, respectivamente, en relación con el promedio de 1961-1990. En relación con la temperatura del aire se estima que hacia el 2050-2060 podría darse un aumento de la temperatura anual del aire entre 1°C y 2°C. En cuanto a la precipitación, se estiman cambios variados para diferentes regiones (aumento para algunas, disminución para otras) que estarían diferenciadamente entre $\pm 15\%$.

6.2.1 ZONAS COSTERAS E INSULARES

Se estableció que el incremento del nivel medio del mar en un metro en las costas colombianas causaría la inundación permanente de 4.900 km² de costas bajas, el encharcamiento fuerte a total anegamiento de 5.100 km² de áreas costeras moderadamente susceptibles, así como el encharcamiento de zonas aledañas y la profundización de los cuerpos de agua localizados en la zona litoral y la plataforma continental. Los sistemas naturales como las playas y marismas serían los más afectados por la erosión y la inundación del litoral. La población que se encuentra en áreas expuestas a la inundación es de aproximadamente 1,4 millones de habitantes, población asentada, en su mayoría, en el sector urbano (85%). Para el litoral Caribe, sólo el 9% de las viviendas urbanas presenta alta vulnerabilidad a la inundación, porcentaje que llega a 46% en el sector rural. En el litoral Pacífico, 48% de las viviendas del sector urbano y 87% del sector rural son altamente vulnerables. Sin embargo, debido a las tradiciones culturales, gran proporción de las viviendas están construidas sobre palafitos, costumbre que facilitará la adaptación.

⁷ Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM, PNUD. Colombia, Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Santa Fe de Bogotá, Diciembre de 2001.

En el litoral Caribe el análisis concluyó que en el sector agropecuario, de las 7'208.299 ha de cultivos y pastos reportadas, 4,9% están expuestas a diferentes grados de amenaza por inundación. De éstas, 49,5% presenta alta vulnerabilidad, representada en cultivos de banano y palma africana principalmente. En el sector industrial, se encontró que 75,3% (475 ha) del área ocupada por los establecimientos manufactureros en Barranquilla y 99,7 % (877 ha) en Cartagena son de alta vulnerabilidad. Se considera que 44,8 % de la malla vial terrestre tiene alta vulnerabilidad, 5,2 % vulnerabilidad moderada y 22,7 % es poco vulnerable.

Se analizó la vulnerabilidad de la isla de San Andrés, ubicada en el mar Caribe, y que hace parte de un extenso archipiélago coralino de 52,2 km². La isla de San Andrés cubre un área de 27 km², de los cuales 17% sería inundado por un ascenso proyectado de un metro del nivel del mar y que se localiza en las zonas norte y este de la isla. Las zonas más afectadas por la inundación representan la mayor parte de la riqueza natural de la isla, y es el sector donde se asienta la infraestructura turística y comercial.

6.2.2 COBERTURAS VEGETALES

Para la evaluación de los posibles impactos en la cobertura vegetal e identificar su vulnerabilidad, se analizaron los desplazamientos de las zonas de vida de Holdridge. Como escenario de cambio climático, se identificaron las coberturas vegetales afectadas por el desplazamiento y se realizó una zonificación del territorio nacional según grados de vulnerabilidad de las coberturas vegetales frente a un cambio climático. De acuerdo con lo anterior, las siguientes zonas podrían verse desplazadas:

- Zona de vida nival (N) se vería afectada en 92%, desplazándose 65% a Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA), y 27% a superpáramo o Tundra Pluvial Alpina (tp-A).
- Zonas de vida Montano, Subalpina y Alpina, ubicadas por encima de los 2.500 msnm, y que corresponden a los subpáramos, páramos, superpáramos y nieves, se podrían ver afectadas entre 90% y 100%, lo que equivaldría a un desplazamiento altitudinal no sólo dentro de las zonas que señala el diagrama de Holdridge, sino a alturas biogeográficas mayores que las que actualmente ocupan en la región andina.
- Zonas de vida Premontano, ubicadas entre los 1.000 y 2.000 msnm, en donde, por lo general, se encuentra la zona cafetera y que corresponde al Bosque Muy Húmedo Premontano (Bmh-PM) y al Bosque Húmedo Premontano (Bh-PM), los cuales cubren 7% del territorio nacional. Estos podrían verse perjudicados entre 50% y 60%, con posible desplazamiento altitudinal hacia elevaciones mayores.

Una tercera parte de las zonas que actualmente son agroecosistemas, podría verse afectada ante un eventual cambio climático. De ser así, los agroecosistemas de la zona andina serían los más vulnerables, en más de 47% de su extensión.

Así mismo, es posible la afectación en el Bosque Basal Amazónico (BBam) en 14% de su extensión, al igual que el Bosque Basal Orinoco (BBo) en 30% y el Bosque Basal Pacífico (BBp) en 7%. El Bosque Andino (BA) sufriría en 43%.

6.2.3 ECOSISTEMAS DE PÁRAMO

La localización de los ecosistemas de alta montaña hace que en ascensos asociados a un calentamiento, se genere una reducción del área y una disminución de la diversidad biológica que ellos albergan. Debido al avance por la vertical, el área del ecosistema se reduce y tiende a desaparecer. Esta localización particular en la alta montaña los hace vulnerables al cambio climático.

6.2.4 SECTOR AGROPECUARIO

El análisis de la vulnerabilidad del sector agrícola se hizo mediante la metodología denominada analogía espacial. De acuerdo a lo establecido las zonas bioclimáticas más seriamente afectadas serían las de alta montaña (>2700 msnm), las de los valles interandinos y las de la región seca caribeña. La disminución del área de paramos afectaría la oferta de agua para aquellas ciudades y zonas agrícolas que se encuentran en áreas de subparamo y en zonas de ladera. Adicionalmente, la región Caribe, los valles interandinos, la Guajira y los altiplanos Cundiboyacense y Nariñense son altamente susceptibles a procesos de avance e intensificación de la desertificación. Los cultivos principales que se encuentran en la zona alto andina son: papa, pastos para ganadería de leche y hortalizas, además de áreas crecientes de cultivos ilícitos de amapola. Los valles interandinos albergan cultivos de arroz, caña, soya y sorgo, mientras que en la región caribe los principales cultivos son sorgo, arroz y ganadería.

El estudio de vulnerabilidad del sector agrícola al cambio climático determinó que los cultivos más vulnerables son: arroz seco manual, arroz seco mecanizado, tomate de árbol, trigo y papa.

6.2.5 SALUD HUMANA

La malaria y el dengue fueron las dos patologías seleccionadas para estudiar la relación entre la salud humana y el cambio climático, por tener gran relevancia en la morbilidad de la población colombiana y mundial.

Las zonas susceptibles de contagio en Colombia se determinaron de acuerdo con variables climáticas (temperatura, precipitación y humedad relativa) e incidencia real en el desarrollo de la malaria y el dengue.

Las zonas más expuestas a la malaria como consecuencia del cambio climático estarían en: la totalidad de los municipios de los departamentos del Chocó y Guaviare; algunos municipios de Putumayo, Caquetá, Amazonas, Meta, Vichada, Vaupés, Guainía y Arauca; las zonas de la vertiente del Pacífico de los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca, y las correspondientes al

Urabá antioqueño, sur de La Guajira, Catatumbo; y, las zonas del Bajo Magdalena, Bajo Cauca, Nechí, Alto San Jorge y Alto Sinú.

En cuanto al dengue, las áreas de mayor vulnerabilidad se sitúan en Santander, Norte de Santander, Tolima, Huila, Atlántico y Valle del Cauca.

6.2.6 RECURSOS HÍDRICOS

Según la evaluación de los efectos del cambio climático sobre el régimen hidrológico, las consecuencias más relevantes son las siguientes:

Habrán regiones del país donde se presentará un aumento de la oferta hídrica natural, cuya distribución en el tiempo será más uniforme. Otras regiones del país tendrán un descenso en la oferta hídrica natural, cuya distribución en el tiempo será mucho más variada.

El 50% del territorio nacional se verá afectado por vulnerabilidad desde alta hasta muy alta como efecto del cambio climático ante una duplicación de CO₂ y en la región Amazónica se esperan cambios drásticos en la dinámica del régimen hidrológico.

7. PRIMERA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO SOBRE CAMBIO CLIMATICO

La Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC) se adoptó en 1992 durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro y entró en vigor en 1994. Hasta mayo del 2004 189 estados han ratificado el Convenio. Colombia lo hizo en 1994. Su objetivo es estabilizar las concentraciones de gases efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que impida efectos peligrosos en el sistema climático. Este nivel debería lograrse en un plazo suficiente para lo siguiente:

- Permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático.
- Asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada.
- Permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Entre los compromisos adquiridos por los países que adoptaron la Convención Marco sobre Cambio Climático se encuentra la elaboración de Comunicaciones Nacionales. Colombia publicó en diciembre de 2001 la [Primera Comunicación ante la CMCC](#)⁸ y sus componentes principales se presentan a continuación:

- 1. Introducción**
- 2. Resumen ejecutivo**
- 3. Circunstancias Nacionales**
- 4. Inventario Nacional de Emisión y Captura de Gases de Efecto Invernadero para los años 1990 y 1994:** Realizado sobre cinco categorías de fuentes que son Energía, Procesos industriales, Agricultura, Cambio en el uso del suelo, Disposición de residuos
- 5. Políticas encaminadas a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.**
- 6. Estudio y análisis de la vulnerabilidad y medidas de adaptación a los efectos del cambio climático:** En zonas costeras, recurso hídrico, las zonas de páramo, las zonas glaciares y otros ecosistemas así como los suelos y tierras por desertificación, las coberturas vegetales, el sector agrícola y la población por enfermedades de dengue y malaria.
- 7. Limitaciones técnico-financieras y Recomendaciones**
 - ✓ Problemas metodológicos frente al uso de las directrices del IPCC.
 - ✓ Problemas encontrados en la consecución de la información.
 - ✓ Recomendaciones para el apoyo técnico y financiero dentro del marco de futuras comunicaciones

⁸ Primera Comunicación Nacional de Colombia presenta a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ideam.2001. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales ([http://www.ideam.gov.co/publica/cambioclimatico/Primera ComunicacionColombia.pdf](http://www.ideam.gov.co/publica/cambioclimatico/Primera%20ComunicacionColombia.pdf))

8. CONVENIOS Y PROTOCOLOS

8.1 CONVENCIÓN MARCO SOBRE CAMBIO CLIMATICO

La Convención Marco sobre el Cambio Climático establece una estructura general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático. Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido cuya estabilidad puede verse afectada por actividades industriales y de otro tipo que emiten dióxido de carbono y otros gases que retienen el calor.

En virtud del Convenio, los gobiernos:

- Recogen y comparten la información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, las políticas nacionales y las prácticas óptimas
- Ponen en marcha estrategias nacionales para abordar el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los efectos previstos, incluida la prestación de apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo
- Cooperan para prepararse y adaptarse a los efectos del cambio climático.

En la siguiente página se puede consultar la versión en español de la Convención. [Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático](http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf) (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>).

A continuación se suministra información sobre los órganos de la Convención en las siguientes hojas informativas:

- [Órganos de la Convención](http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/convention_bodies/items/3325.php) (http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/convention_bodies/items/3325.php)
- [Órganos constituidos](http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/convention_bodies/constituted_bodies/items/3326.php) (http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/convention_bodies/constituted_bodies/items/3326.php)
- [Agrupaciones de las Partes](http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/convention_bodies/party_groupings/items/3327.php) (http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/convention_bodies/party_groupings/items/3327.php)
- [Estado de ratificación](http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/status_of_ratification/items/3328.php) (http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/status_of_ratification/items/3328.php)

8.2 PROTOCOLO DE KYOTO

Negociación del Protocolo de Kyoto y sus normas

Cuando adoptaron la Convención, los gobiernos sabían que sus compromisos no serían suficiente para abordar en serio los problemas del cambio climático. En la CP1 (Berlín, marzo/abril de 1995), en una decisión conocida con el nombre de

Mandato de Berlín, las Partes pusieron en marcha una nueva ronda de conversaciones para decidir la adopción de compromisos más firmes y más detallados para los países industrializados. Después de dos años y medio de negociaciones intensas, se adoptó el protocolo de Kyoto en la CP3 de Kyoto (Japón), el 11 de diciembre de 1997.

No obstante, debido a la complejidad de las negociaciones, quedaron “pendientes” un considerable número de cuestiones, incluso después de la adopción del Protocolo de Kyoto. En éste se esbozaban los rasgos básicos de sus “mecanismos” y el sistema de cumplimiento, por ejemplo, pero no se especificaban las trascendentales normas que regulaban su funcionamiento. Aunque 84 países firmaron el Protocolo, lo que significaban que tenían intención de ratificarlo, muchos se resistían a dar ese paso y hacer que el Protocolo entrara en vigor, antes de tener una idea clara sobre las normas del tratado. Por ello, se inició una nueva ronda de negociaciones para especificar las normas concretas del Protocolo de Kyoto, que se organizó en paralelo con las negociaciones sobre las cuestiones pendientes en el marco de la convención. Esta ronda culminó finalmente en la CP7 con la adopción de los Acuerdos de Marrakech, en que se establecían normas detalladas para la aplicación del Protocolo de Kyoto.

Disposiciones del Protocolo de Kyoto y sus normas

El Protocolo de Kyoto de 1997 tiene los mismos objetivos, principios e instituciones de la Convención, pero refuerza ésta de manera significativa ya que a través de él las Partes incluidas en el anexo I se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Sólo las partes en la Convención que sean también partes en el Protocolo (es decir, que lo ratifiquen, acepten, aprueben o se adhieran a él) estarán obligadas por los compromisos del Protocolo, cuando entre en vigor. Los objetivos individuales para las Partes incluidas en el anexo I se enumeran en el anexo B del Protocolo de Kyoto. Entre todos suman un total de recorte de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 en el periodo de compromiso de 2008-2012.

En la siguiente página se puede consultar la versión en español del Protocolo: [Protocolo de Kyoto](http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf) (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>).

Estado de ratificación del Protocolo de Kyoto

El texto del Protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se adoptó en la tercera sesión de la Conferencia de las Partes en la CMNUCC celebrada en Kyoto (Japón) el 11 de diciembre de 1997. 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. En esa fecha, el Protocolo había

recibido 84 firmas. Las Partes que no han firmado todavía el Protocolo pueden adherirse a él en cualquier momento.

El Protocolo puede ser objeto de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión por las Partes en la Convención. Entrará en vigor el nonagésimo día después de la fecha en que no menos de 55 Partes en la Convención, entre las que se encuentren Partes incluidas en el anexo I que representen en total al menos al 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono de ese grupo en 1990, hayan depositado sus instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión.

En la siguiente página se puede observar la lista con el estado de ratificación del Protocolo de los diferentes países: [Firmantes del Protocolo de Kyoto](http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf) (http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf).

La lista contiene la información más reciente referente a las fechas de firma y ratificación recibida del Secretario General de las Naciones Unidas, en calidad de Depositario del Protocolo de Kyoto. Las fechas de la columna que contiene las fechas de ratificación son las de recepción del instrumento de ratificación (R), aceptación (At), aprobación (Ap) o adhesión (Ac).

9. PROYECTOS DEL IDEAM RELACIONADOS CON EL CAMBIO CLIMATICO

9.1 SEGUNDA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO SOBRE CAMBIO CLIMATICO

Dando cumplimiento a los compromisos ante la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC) y a los lineamientos establecidos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), el Gobierno de Colombia bajo la coordinación del Ideam se ha propuesto dar inicio al proceso de elaboración de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático -SCN-, que consiste en:

- i) Actualizar las Circunstancias Nacionales para el período comprendido entre los años 2000 y 2006;
- ii) Realizar el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero -GEI- 2000-2004;
- iii) Identificar las acciones adelantadas por el país para mitigar el cambio climático con relación a las fuentes de emisiones antropogénicas y a la absorción por los sumideros, de todos los GEI;
- iv) Analizar la vulnerabilidad en diferentes sectores y regiones de Colombia al cambio climático e identificar medidas de adaptación;
- v) Promover la creación de capacidades para adelantar acciones a nivel nacional en educación, capacitación y sensibilización del público, de acuerdo con lo establecido en el artículo 6 de la CMNUCC y,
- vi) Preparar el documento de SCN para ser presentado ante la CMNUCC.

9.2 PROYECTO NACIONAL INTEGRADO DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (INAP)

Recogiendo las recomendaciones de la Primera Comunicación Nacional (CN1) y de los Lineamientos de la Política de Cambio Climático, el INAP (Integrated National Adaptation Pilot: High Mountain Ecosystems, Colombia's Caribbean Insular Areas, and Human Health) tiene como objetivo específico apoyar al país en el proceso de formulación de programas específicos de adaptación para contrarrestar los efectos adversos del cambio climático en los ecosistemas de alta montaña, en el área insular del Caribe colombiano y en la salud humana (expansión de la incidencia de dengue y malaria).

9.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El INAP será el primer proyecto de adaptación al cambio climático a nivel mundial. Una parte de la financiación provendrá de la recientemente aprobada ventana del

Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) para medidas piloto de adaptación. Esta ventana tiene como objetivo financiar proyectos que sirvan como ejemplo para mostrar la transición entre la fase de evaluación del impacto del cambio climático a la fase de formulación e implementación de medidas de adaptación. El INAP financiará 3 actividades específicas:

A. Formulación de programas de adaptación

El INAP apoyará: (i) la formulación de un programa de salud, basado en el plan nacional existente, que tome en consideración los cambios anticipados e inducidos generados por el cambio climático en lo que respecta al dengue y la malaria; (ii) la evaluación de las implicaciones del cambio climático en los ecosistemas de alta montaña y en el área insular del caribe colombiano, en particular en la oferta hídrica, la generación de energía hidroeléctrica y la agricultura, y proponer modificaciones pertinentes a los programas sectoriales existentes de manera que tomen en consideración los efectos anticipados del cambio climático global.

B. Implementación de medidas prioritarias piloto de adaptación

El INAP apoyará: (i) la identificación de opciones piloto de adaptación; (ii) la preparación de análisis costo-beneficio para las opciones aplicables; (iii) el desarrollo de una estrategia de implementación y (iv) la implementación de medidas piloto de adaptación. Las medidas piloto podrían incluir, entre otras: (i) un programa piloto de adaptación en el Páramo de las Hermosas; (ii) un programa piloto de adaptación en la zona insular del Caribe colombiano y (iii) un programa de adaptación para el sector energético que incorpore los cambios inducidos en la precipitación y reducción de las reservas de agua natural en las zonas de alta montaña como resultado del cambio climático proyectado.

C. Sistema de evaluación y monitoreo

El INAP apoyará el diseño e implementación de los sistemas correspondientes de evaluación y monitoreo para analizar la efectividad de las medidas de adaptación adoptadas dentro del marco del proyecto.

9.2.2 DURACIÓN Y COSTOS

El INAP tendrá una duración de 5 años y un costo total de 12,250 millones de dólares de los cuales el GEF, a través del Banco Mundial, suministrará US\$ 4 millones. El aporte de Colombia será de US\$ 2,4 millones en especie, que aportarán las diferentes instituciones participantes en recursos humanos y técnicos. Para complementar el INAP, el país recibió una donación del gobierno japonés por US\$ 400.000, destinados al fortalecimiento de la capacidad técnica del IDEAM en modelación del clima y de los impactos del cambio climático, y en el monitoreo del clima en ecosistemas de alta montaña. Se espera que el Proyecto de Carbono de Amoya financie otros US\$ 4 millones para medidas específicas de adaptación en el Páramo de las Hermosas. Algunas entidades como Conservación Internacional, la NOAA, la CDC, el Smithsonian y CIDA han sido contactadas para financiar los remanentes US\$ 1,85 millones.

9.3 PROYECTO PHRD

A pesar de contribuir mínimamente al fenómeno de cambio climático (el país emite únicamente el 0,25% de las emisiones globales de dióxido de carbono), Colombia es particularmente vulnerable a los efectos de este fenómeno. La CN1 determinó uno de los tipos de ecosistemas colombianos más vulnerables a los efectos del cambio climático serían los de alta montaña. Con un aumento proyectado para el 2050 en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional entre 1°C y 2°C; y una variación en la precipitación entre $\pm 15\%$, se espera que el 78% de los nevados y el 56% de los páramos desaparezcan. En este sentido, no se tratará solamente de la pérdida de biodiversidad, sino de un problema de seguridad nacional relacionado con la pérdida de buena parte de los bienes y servicios ambientales del país, entre los cuales está principalmente la oferta hídrica de la Nación.

A partir de los resultados y recomendaciones de la CN1, el Consejo Nacional Ambiental, máxima instancia de decisión y coordinación intersectorial colombiana alrededor de los temas ambientales, aprobó en agosto de 2002 los Lineamientos de la Política Nacional de Cambio Climático. Entre las recomendaciones más importantes se encuentran: i) mejorar las estimaciones de los posibles cambios de temperatura del aire, de la precipitación y de otras variables climatológicas en el territorio colombiano en una escala más precisa; ii) estimar los impactos del cambio climático así como la vulnerabilidad de sistemas estratégicos para el país, que a su vez pueden ser altamente vulnerables ante el cambio climático y los efectos sobre las variables socioeconómicas asociadas a los mismos y iii) determinar las correspondientes medidas de adaptación y sus opciones en el marco legislativo y político nacional e internacional.

De acuerdo con lo anterior, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, el Ideam y el Banco Mundial, formularon el proyecto INAP. Como parte de las actividades a desarrollar en el proyecto INAP, el Gobierno de Japón a través del Banco Mundial aprobó recursos de donación por valor de 400.000 dólares (Proyecto “Japanese Grant For Integrated National Adaptation To Climate Change Pilot”), destinados a profundizar en el componente de ecosistemas de alta montaña. El objetivo general del proyecto es asistir al país en la formulación e implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en los ecosistemas de alta montaña.

10. QUE HACER PARA EVITAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL???

El dióxido de carbono es el segundo gas más importante en el calentamiento global por su cantidad después del vapor de agua y el primero asociado a actividades humanas. Todo equipo cuya operación produce dióxido de carbono está aportando al calentamiento global. Algunos de estos están en nuestras casas: automóviles, equipos que utilizan gasolina, gas ó carbón (asadores, cocinas, hornos, entre otros), cortadoras de césped y enseres eléctricos (pues la energía que utilizan puede provenir de la quema de combustibles fósiles en la planta generadora). ¿Qué podemos hacer?

Actualmente las personas tienen más poder del que creen para que gobiernos y empresas den un giro. Wangari Maathai, Nobel de Paz en 2004 dijo: "No son las cosas grandes las que marcarán la diferencia, sino más bien los pequeños pasos que demos cada uno cada día". Cambiemos el rumbo cambiando nuestros hábitos de consumo. Está a nuestro alcance. Cada uno de nosotros con pequeñas decisiones y acciones diarias (qué compra, cómo va a trabajar, cómo es su casa, que utiliza, qué come), puede contribuir a reducir las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global. Si no cree en esta problemática, igualmente, al tener en cuenta las siguientes recomendaciones, contribuirá a disminuir la emisión de gases contaminantes de carácter local (que pueden afectar en forma más directa la salud) y regional (que pueden generar otros problemas como la lluvia ácida).

- Como una de las principales fuentes generadoras de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son los automóviles, las siguientes son algunas sugerencias para evitar su uso y disminuir sus emisiones:
 - ✓ En lo posible disminuir su uso (úselo solo cuando sea necesario) y no utilizarlo para trayectos cortos que se puedan realizar caminando.
 - ✓ Usar alternativas de transporte como es la bicicleta, así como sistemas de transporte masivo (buses, colectivos, trenes, entre otros).
 - ✓ Si va a detener el carro por más de un minuto es conveniente que lo apague mientras espera (Fuente: Chevrolet). Cada dos minutos parado con el motor encendido gasta tanta gasolina como manejar 1,5 kilómetros. Pero apagar el motor en los semáforos largos puede ser contraproducente ya que los carros no están contruidos para soportar el shock constante de encender y apagarse en cada semáforo en rojo.
 - ✓ Revisar periódicamente el funcionamiento del vehículo (sincronización anual del motor, revisión del sistema de control de emisiones, alineación y balanceo de las llantas y en general revisiones periódicas de carácter técnico y mecánico del vehículo). A medida en que el kilometraje total de un vehículo aumenta, las emisiones evaporativas y del escape también aumentan, debido al desgaste, desajuste y a la degradación continua de los componentes del auto y del

sistema de control de emisiones del vehículo. El propósito de los programas de revisión técnico-mecánica consiste en minimizar este exceso de emisiones.

- ✓ Revisar periódicamente los consumos de combustible del vehículo. Si encuentra algún alza injustificada, es conveniente que mande a revisar el auto por un experto (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Cambiar los filtros, las bujías y el aceite de acuerdo a las recomendaciones técnicas (Fuente: Chevrolet). Reemplazar los filtros de aire puede mejorar el rendimiento del combustible hasta en un 10% (Fuente: FuelEconomy.com).
- ✓ Maneje con las ventanas cerradas, ya que afecta la aerodinámica del carro y este tendrá más resistencia para avanzar y por tanto consumirá más combustible. Esta resistencia reduce la eficiencia entre el 2% y el 3% (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Si es posible, cargue el tanque del carro temprano en la mañana o en la noche, ya que a baja temperatura disminuirá el nivel de evaporación del combustible (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Asegúrese de mantener la presión adecuada de las llantas, ya que por cada psi (unidad física que corresponde a una libra por pulgada cuadrada) de presión menos de la recomendada, el consumo aumenta en un 0,4% (Fuente: Chevrolet). Los neumáticos deben inflarse hasta el nivel especificado en el manual del usuario del auto. Sin embargo hay un límite; si los infla demasiado puede perder tracción.
- ✓ Aplicar buenas prácticas para conducir como son: no acelerar y frenar bruscamente el vehículo (no acelere a fondo ni muy rápido si no lo necesita) y mantener una velocidad entre los 40 y los 88 km/hora en carretera que es el rango en el cual algunos tipos de vehículos emiten menos emisiones (tal como se puede apreciar en la figura 1 para la emisión de óxidos de nitrógeno en diferentes tipos de vehículos). Para la mayoría de los carros, manejar a 88 kilómetros por hora es lo mas conveniente, pero los autos con formas aerodinámicas más eficientes tendrán velocidades de rendimiento óptimo mayores.

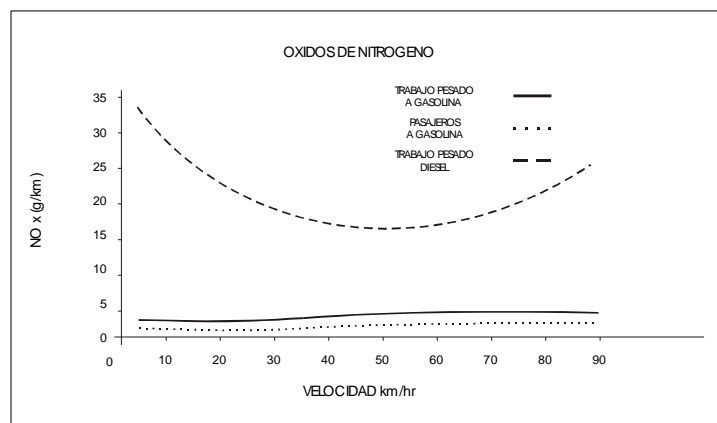


Figura 35. Producción de Óxidos de Nitrógeno según la velocidad para varios tipos de vehículos. FUENTE: Instituto Colombiano del Petróleo. Seminario/Taller “Emisiones Atmosféricas: Combustibles, tecnología automotriz y gestión de la calidad del aire urbano”. Bucaramanga, 1998.

- ✓ Use el aire acondicionado solo cuando sea necesario, ya que puede aumentar el uso de combustible. Para un auto con motor de cuatro cilindros, prender el aire acondicionado reduce el rendimiento del combustible hasta en un 20%. Para un motor mas potente, el aire acondicionado reduce la eficiencia en un 10% (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Evite sobrecargar el vehículo innecesariamente; cargue cosas pesadas en el baúl o el platón solamente cuando sea necesario (Fuente: Chevrolet).
- ✓ No “caliente” el carro en la mañana, es mejor manejar muy suave los primeros minutos hasta que se caliente el motor (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Respete siempre los límites de velocidad; maneje a una velocidad constante para evitar tener que revolucionar el motor innecesariamente (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Evite las velocidades muy elevadas, ya que un aumento del 20% en la velocidad hace que consuma al menos un 40% más de combustible (Fuente: Chevrolet).
- ✓ Planifique su recorrido en automóvil para no malgastar gasolina. Arranque sin pisar el acelerador, suba una velocidad cuanto antes (a 2500-3000 rpm), mantenga la velocidad constante y mire hacia delante para evitar frenar o acelerar de manera repentina. No olvide apagar el motor aunque se trate de paradas cortas.
- ✓ En lo posible compartamos el carro particular con vecinos y amigos. Además de reducir nuestra “huella ecológica”, fortalecemos nuestros lazos de afecto.
- ✓ En motores a gasolina los cambios deben hacerse entre las 2000 y las 2500 revoluciones por minuto (rpm) y en motores diesel entre 1500 y 2000 rpm (Fuente: Chevrolet).
- ✓ A velocidad de cruce use el cambio más alto posible (4ta o 5ta), es decir, el que le de revoluciones más bajas (Fuente: Chevrolet).
- ✓ **Evitar la compra de vehículos de alto cilindraje ya que consumen mayor cantidad de combustible por kilómetro recorrido.**
- ✓ **Utilicemos vehículos eficientes y que funcionen adecuadamente, lo cual les permitirá recorrer más kilómetros con menos combustible.**
- ✓ Implementar políticas para la producción y el uso de gasolina reformulada (la gasolina reformulada tiene características de emisiones más bajas que la convencional) y oxigenada (la combustión de gasolina oxigenada produce menores emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos que la gasolina regular, aunque pueden incrementarse las emisiones de óxidos de nitrógeno), así como, para el uso de combustibles alternativos como son: el gas natural comprimido (GNC), el gas licuado de petróleo (GLP), el metanol, el etanol (elaborado a partir de caña de azúcar, cereales o tubérculos), aceites vegetales, hidrógeno, electricidad, combustibles sintéticos líquidos (derivados de la hidrogenación del carbón) y varias mezclas de combustibles como el de la gasolina y el etanol.
- ✓ Implementar políticas para renovar periódicamente el parque automotor con el fin de que circulen vehículos con sistemas de control de emisiones de última tecnología.

- Podemos también comprar equipos que ahorren energía (usar electrodomésticos de bajo consumo). Por ejemplo, las bombillas fluorescentes compactas ahorran energía e irradian más luz y menos calor (estas bombillas generan una inversión inicial alta, pero esta se recupera con el bajo consumo y por que no se tienen que cambiar los bombillos en al menos tres años). Cada vez que usted elige una lámpara de luz fluorescente en lugar de una incandescente, disminuye su cuenta de luz (ya que consumen un 80 por ciento menos de energía y duran el doble) y evita que más de 300 kilos de dióxido de carbono sean emitidos durante la vida útil del foco. De igual forma, al comprar un refrigerador con la etiqueta Energy Star, lo cual indica que utiliza por lo menos 15% menos energía que un modelo con uso menos eficiente de energía está reduciendo las emisiones de CO₂.
- Haga de la conservación de la energía parte de su rutina diaria: apagar las luces cada vez que se sale de una habitación; no dejar prendidos los electrodomésticos que no se estén usando; apagar los aparatos eléctricos en lugar de dejarlos en "stand-by"; planche una vez a la semana; evitar abrir y cerrar constantemente la nevera; evitar abrir la puerta del horno. También se recomienda usar el calor residual para terminar de cocer los alimentos; tapar las ollas durante el tiempo de cocción para que hierva el agua más rápido y así evitar que se gaste energía (ahorras hasta un 30 por ciento) y reducir el fuego al mínimo tan pronto comience la ebullición.
- Cuando utilice la lavadora, efectúe los lavados cuando llegue a la capacidad máxima aconsejada por el fabricante; no sobrepase la capacidad máxima establecida, para lavar poca ropa utilice el programa económico; utilice la cantidad correcta de jabón para no tener que realizar más de un enjuague; reutilice parte del agua que usa la lavadora, esta podría servir para los baños o limpiar pisos.
- Verifique que los electrodomésticos estén en buenas condiciones, ya que una falla puede generar consumos adicionales de energía.
- Si se forma escarcha en el congelador del refrigerador, póngalo a descongelar hasta que la capa de hielo alcance los 3 milímetros, de lo contrario el consumo de energía puede ser superior en un 30%.
- Pinte de colores claros las paredes de su casa, así podrá utilizar lámparas de menor potencia.
- Utilice iluminación dirigida para lectura, trabajos manuales, etc
- Hasta donde resulte posible, no neguemos las características naturales del ambiente en el cual nos encontramos: resulta ridículo tener que abrigarse en clima caliente para resistir el frío del aire acondicionado, o acalorarse en climas fríos por la calefacción excesiva.

- Evite desperdicios de calor; evite usar en exceso la plancha, el calentador de agua o la lavadora; gradúe el termostato de su plancha de acuerdo al tipo de tejido que planchará; utilícela a partir del momento en que la conecta y desconéctela antes de concluir; junte una cierta cantidad de ropa para su planchado, así evitará desperdicios de energía.
- La inversión de un calentador solar es alta, pero esta es recuperable en tres años ya que se está ahorrando ya que se está ahorrándole 60% del gas empleado normalmente para la misma función y si calienta agua con electricidad el ahorro será mucho mayor.
- Si usa el horno microondas en vez del convencional, ahorrará hasta un 70% de energía. El horno de gas en lugar del eléctrico ahorra de un 60 a 70% de energía.
- ¿Te gusta prender varios electrodomésticos al tiempo?. Si llegas a casa y al tiempo que prendes la televisión, enciendes el equipo de sonido, mientras cocinas y hablas con tu familia. Decídete por una actividad y enciende lo que necesitas cuando lo vas a usar.
- Podemos usar equipos que utilicen energías alternativas y renovables, por ejemplo, energías como la solar, eólica, biomasa, mareomotriz, geotérmica, micro hidráulica, etc.
- Evitar fugas de gas natural utilizado en residencias e industrias. No calentar en exceso los alimentos y realizar un buen uso de estufas, hornos, calentadores y asadores.
- Optimizar el uso de la energía en las industrias.
- Evitar la quema de llantas y residuos orgánicos y agrícolas, así como las quemaduras de sabanas en actividades agrícolas.
- Disminuir el uso de fertilizantes en los cultivos, ya que estos se descomponen y generan GEI.
- Evitar la tala de bosques y por el contrario trate de plantar un árbol aunque sea una vez en su vida. Tratar de mantener jardines y macetas con plantas en la casa.
- Cultive plantas autóctonas, que requieren menos cuidados y menos agua.
- Rechace la cocaína. La siembra de coca ha destruido 2,2 millones de hectáreas de nuestro bosque.

- Reduzca el consumo de productos evitando las compras innecesarias.
- Compre productos de desarrollo alternativo. Ayuda a eliminar los cultivos ilícitos y sus precursores químicos de nuestro medio ambiente. Los alimentos ecológicos u orgánicos evitan el uso de químicos, así como usan técnicas de rotación y de asociación que permiten mantener la fertilidad de la tierra.
- Prefiramos alimentos y en general productos que nos garanticen que han sido cultivados o fabricados de manera “amigable” con el ambiente. Aprendamos a reconocer los símbolos que nos garantizan que tras esos productos hay procesos de producción limpia y que sus fabricantes son responsables ecológicamente.
- Compre productos y alimentos locales. Así apoya comunidades y reduce el transporte de alimentos y por ende las emisiones.
- Evite la compra de productos enlatados (cerveza, frutas, verduras, atún, entre otros). Los productos enlatados utilizan muchos recursos y energía.
- Reducir el consumo de carnes rojas ya que la cría de ganado exige un gran gasto de recursos y contribuye al calentamiento global. El metano es el segundo gas de invernadero más significativo y las vacas son uno de los más grandes emisores de metano. Su dieta de pasto y sus múltiples estómagos las hace producir metano.
- Consume más frutas, verduras y legumbres que carnes.
- Evite consumir alimentos "transgénicos" (OMG Organismos Manipulados Genéticamente) ya que su producción contamina los ecosistemas dañando el medio ambiente.
- No consuma comidas exóticas, tales como huevos de iguana, carne de tortuga o tiburón, entre otras, pues al consumirlas está promoviendo la desaparición de especies.
- Contemple la ley de las 3 Erres: RECICLAR, REDUCIR el consumo innecesario e irresponsable y REUTILIZAR los bienes. Al recuperar cajas de cartón o envases contribuyes a que se talen menos árboles, encargados de capturar CO₂ y de purificar el aire.
- Reciclar usando varias canecas: una para el papel y el cartón, otra para el vidrio, metales y plástico y otra para los residuos no reciclables (orgánicos, papel higiénico y envoltorios que no se pueden reciclar). Al usar papel reciclado se ahorra el 50% de energía y al reciclar el aluminio se ahorra el 90%.

- Comprometámonos a que nuestros desechos salgan debidamente clasificados de nuestras propias casas, colegios y lugares de trabajo. Cuando no podamos reciclar directamente, facilitemos el trabajo de los recicladores.
- Recuerde que hay empresas dedicadas a la compra de materiales reciclables como papel periódico, botellas, etc. Infórmese donde puede llevarlos.
- Usar las dos caras del papel sobre todo cuando se toman apuntes o se hacen impresiones en borrador. Al reutilizar 100 kilogramos de papel se salva la vida de al menos 7 árboles.
- Antes de imprimir un documento o un mensaje electrónico, piense si realmente necesita hacerlo, o si solo se requiere leerlo en la pantalla del computador.
- Disminuir el uso de las bolsas de compras y en lo posible llevar las bolsas, talegos y canastos desde la casa al ir de compras; realizar las compras en almacenes donde se utilicen bolsas biodegradables; comprar productos reutilizables y que vengan en envases RETORNABLES; prefiera los productos que vienen en envases reciclables (cartón o vidrio); elija siempre que pueda envases de VIDRIO en lugar de Plástico, Tetrapack o Aluminio y evite productos con envoltorios inútiles. En general, tratemos de adquirir productos cuyos empaques y residuos generen el menor impacto ambiental posible.
- Reutilicemos las bolsas plásticas cuantas veces sea posible y necesario: aprovechemos positivamente la enorme resistencia y durabilidad de los plásticos. De lo contrario, esa característica se convierte en su peor defecto.
- ¿Aún guardas el celular viejo?. Mejor llévalo a un depósito especial del operador celular para que hagan un reciclaje eficiente.
- Prefiera los jabones biodegradables; el shampoo y los detergentes son contaminantes. Hay que usarlos con moderación y de ser posible optar por productos ecológicos.
- Prefiera la ducha al baño en tina; cuando se cepille los dientes o se afeite no deje la llave abierta; no utilice los sanitarios como canecas; use el agua caliente sólo de ser necesario y sólo la necesaria; recoja en un balde el agua fría que sale de la ducha antes de que se comience a calentar y usted a bañarse.
- Verifique que los baños y lavaderos, así como los sanitarios, no tengan fugas. Repare inmediatamente las fugas, porque diez gotas de agua por minuto suponen 2000 litros de agua al año desperdiciados.
- Evite lavar los alimentos con la llave abierta, utilice un recipiente. Al terminar, esta agua se puede aprovechar para regar las plantas.

- Evite vaciar la cisterna sin necesidad; evite tirar el aceite por los fregaderos, flota sobre el agua y es muy difícil de eliminar; evite arrojar basura al mar, ríos o lagos.
- ¿Eres fanático del uso de la manguera?. En especial para lavar el carro y los patios en la casa... tal vez no sea una buena idea para su bolsillo. Utilice una pistola de interrupción de chorro.
- Trate de usar la ropa más de una vez; use lo menos posible toallas de papel y servilletas y utilice más limpiadores y toallas que se puedan lavar con frecuencia.
- Revise constantemente las cosas que ha dejado de usar en la casa: ropa, zapatos, juguetes, etc. Y antes de botarlas a la basura, verifique si puede regalarse a otros que las necesiten o puedan darles uso. Lo mismo cuando realice remodelaciones en su casa: la madera, estantes, azulejos, sanitarios, entre otros, pueden servir para otros fines.
- Es mejor comprar unas cuantas pilas recargables y su cargador, que estar comprando pilas frecuentemente. A mediano plazo se ahorra dinero y se utilizan menos pilas, las cuales son muy difíciles de reciclar.
- Darle un uso óptimo al metano generado en rellenos sanitarios y cuando se dispongan desechos orgánicos o se degrade materia orgánica en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno).
- Si su look depende del gel o gomina, piénselo dos veces porque el gel es un derivado del petróleo. Opte por un peinado que no se lo exija.