



Ana Jesús Hernández



# Cambio Climático

Actualidad Científica y  
Acción Educativa

Centro Poveda

Cuadernos de Sociedad y Educación, No.11

© Centro Cultural Poveda.

Puede reproducirse total o parcialmente este documento  
siempre que se haga de modo literal y se mencionen los autores.

# **CAMBIO CLIMÁTICO**

## **ACTUALIDAD CIENTÍFICA Y ACCIÓN EDUCATIVA**

---

Ana Jesús Hernández

**Centro Poveda**

Derechos Reservados  
© 1999, Centro Cultural Poveda, Inc.  
**EDITORIAL CENTRO CULTURAL POVEDA**  
**ISBN: 84-95188-16-3**

Calle Pina 210, Ciudad Nueva, Santo Domingo, D.N.  
Tels.689-5689 / 686-0210 • Fax: 685-4635 • E-mail: [info@centropoveda.org](mailto:info@centropoveda.org)  
Sitio web: <http://www.centropoveda.org>

Autora: Ana Jesús Hernández. Área de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá (Madrid). Asesora del Centro Cultural Poveda en el Área de Ciencias de la Naturaleza.

Diagramación: Emilio Junior Hidalgo Pirón

Edición al cuidado de: Raymundo González

Impreso en República Dominicana por Editora Buho, Calle José Contreras esq.  
Abraham Lincoln, Santo Domingo. Tel.: 532-2343

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN .....	3
I.- INTRODUCCIÓN .....	5
II.- PLANTEAMIENTO DE LA TEMÁTICA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO .....	7
III.- LAS HIPÓTESIS EXPLICATIVAS Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	9
IV.- VARIACIONES CLIMÁTICAS CON RELACIÓN A CAUSAS NATURALES .....	13
4.1 LAS VARIACIONES DE ACTIVIDAD SOLAR .....	15
4.2 El Niño y la Oscilación Austral (ENSO, DEL INGLÉS "El Niño Southern Oscillation") Y "La Niña" .....	15
V.- VARIACIONES CLIMÁTICAS ACTUALES CON RELACIÓN A CAUSAS ANTROPOGÉNICAS .....	21
5.1 ISLAS DE CALOR URBANAS .....	21
5.2 AUMENTO DEL EFECTO INVERNADERO .....	24
5.3 REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO .....	26
VI.- LA RESPUESTA DE LOS ECOSISTEMAS AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	37
VII.- CONCIENCIACIÓN MUNDIAL ACERCA DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	41
VIII.-CAMBIO CLIMÁTICO Y CAMBIO GLOBAL .....	47
8.1 CAMBIO GLOBAL Y ECOSISTEMAS TERRESTRES .....	49
8.2 PERCEPCIÓN Y VALORACIÓN HUMANAS DEL CAMBIO GLOBAL .....	51
IX.- CAMBIO CLIMÁTICO, HURACANES, TORMENTAS TROPICALES Y CRECIENTE SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR EN LAS ZONAS HÚMEDAS COSTERAS .....	53
9.1 UNA INTRODUCCIÓN APOYADA EN LA REALIDAD .....	54
9.2 SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR .....	67
9.3 LOS HURACANES Y LAS TORMENTAS TROPICALES .....	68
9.4 RESPUESTA ECOLÓGICA DE LOS ECOSISTEMAS DE LAS ZONAS HÚMEDAS COSTERAS A HURACANES Y TORMENTAS TROPICALES .....	69
X.- CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO .....	75
XI.- CUESTIONES PARA LA ACCIÓN EDUCATIVA .....	79
XII.- GLOSARIO .....	83
XIII.-BIBLIOGRAFÍA .....	87

## 0. - PRESENTACIÓN

Las páginas que hay a continuación son producto de la conferencia que bajo el mismo título de este libro fue impartida en la Universidad Autónoma de Santo Domingo con motivo del Día Mundial del Medio Ambiente, en el pasado junio de 1998. Durante los meses de marzo a junio de dicho año, tuve la oportunidad de comprobar por mí misma la alta temperatura superficial de las aguas del Pacífico en la costa nicaragüense, la alta presión que ejercía el aire caliente en la costa sureste dominicana y cómo los dominicanos y los nicaragüenses estaban atónitos por los trastornos que estaba causando El Niño tanto en sus respectivos países como en otras áreas de América Latina. Entre septiembre y noviembre del mismo año sus países correspondientes eran afectados por el huracán Georges (República Dominicana) y el Mitch (Nicaragua) respectivamente, con lo que el impacto personal ha sido aún mayor, ahora que se cumplen 10 años de mi venida por vez primera a Santo Domingo y que ya uno de los mayores impactos recibidos fue precisamente el de las catástrofes naturales que sufrían los países tropicales del área del Caribe. Durante esta última década se ha producido también un mayor conocimiento científico respecto al cambio climático, hecho que nos ha permitido acercarnos a ofrecer el estado actual de las cuestiones que, con toda probabilidad, están relacionadas con dichas catástrofes.

Agradezco la oportunidad ofrecida por la financiación de un proyecto de investigación que en la actualidad me ha permitido trabajar este tema<sup>1</sup>, pero sobre todo al Centro Cultural Poveda por su iniciativa en publicar la citada conferencia, dado el empeño que dicho Centro está llevando por una apuesta en la transformación curricular del país dominicano.

Santo Domingo, 4 de Abril de 1999

---

<sup>1</sup> Proyecto CICyT, CLI95-1790

## **1. INTRODUCCION**

Las páginas siguientes constituyen el desarrollo de una conferencia, como hemos aludido en la presentación de las mismas. Dos cuestiones quisiéramos resaltar al respecto. En primer lugar, que las figuras y cuadros corresponden a las transparencias que ilustraron nuestra exposición oral y, como suele suceder en una intervención de este estilo, buscan más la comunicación verbal (y didáctica), que exponer un contenido más ambicioso por escrito. Todo el texto siguiente ilustra este soporte instrumental de nuestra conferencia. Las numerosas cuestiones que siguieron al rico coloquio posterior, esencialmente venidas de estudiantes universitarios, así como el Seminario con maestras/os dominicanos que tuvimos ocasión de desarrollar dos días más tarde, han hecho que profundizásemos y/o explicitásemos más algunos de los apartados. Aún con todo, el resultado no se corresponde a un trabajo que se elabora para ser comunicado por escrito. Permítasenos, pues, una cierta ambigüedad resultante al intentar escribir lo que se ha elaborado para ser comunicado a través de una conferencia. Disculpen, asimismo el hecho de que en algunas de las figuras no aparezca la fuente original, si bien puede encontrarse en la bibliografía que hemos seleccionado para este tema.

En segundo término, el que hayamos abordado esta temática, de la que no nos consideramos especialistas, responde más bien a la inquietud por divulgar aquellas cuestiones que la investigación científica va esclareciendo y que pensamos deben ir entrando en los nuevos diseños curriculares. Esta tarea fue uno de los compromisos que voluntariamente adquirimos ahora hace 25 años, al sacar una cátedra de Ciencias Naturales para las Enseñanzas Medias y, que sin duda, ha sido posible seguir continuando gracias a las tareas universitarias posteriores.

Podíamos prácticamente resumir gran parte de los apartados siguientes diciendo que el conocimiento científico del clima y los procesos que lo condicionan es limitado, y no hay signos de que a corto plazo vaya a mejorar hasta el punto de poder evaluar las retroacciones positivas y negativas y tener una idea clara y detallada de los efectos del cambio climático y sus costes, pero de acuerdo con el principio de precaución, la falta de información sobre un problema ambiental no debe llevar a la inacción frente al mismo, en especial si las consecuencias son potencialmente catastróficas, y difícilmente reversibles si se deja que crezca el problema.

Por otra parte, recordemos que la humanidad está cambiando los patrones del tiempo y los problemas que generan las condiciones meteorológicas adversas se están multiplicando. La terrible destrucción en vidas y en millones de bienes perdidos por economías pobres, sería ya una cuestión grave de por sí sin la furtiva sospecha de que la causa inmediata es el calentamiento prolongado de la tierra, debido al uso abusivo de los combustibles fósiles por parte de las economías industriales, que desembocan en una concentración creciente de dióxido de carbono en la atmósfera. Este aumento hace que la Tierra retenga más el calor del Sol con lo que la temperatura del planeta se eleva. Dicho calentamiento también podría ser un factor determinante de la frecuencia y fuerza de "El Niño" en los últimos 20 años, y en la intensificación de los huracanes en el Caribe. Aunque los modelos meteorológicos no permiten aún demostrar con seguridad la conexión aludida, nos encontramos ante una temática que debe ser conocida por toda la gente, en especial por la de aquellos países que sufren más directamente las adversidades del clima.

Se requiere pues una acción educativa con relación a toda esta problemática si bien, como cualquier otro contenido básico de la educación para el medio ambiente, no se puede entender ésta tampoco como algo simple y evidente. No obstante, al reposar sobre una perspectiva sistémica, como veremos a continuación, el "cambio climático" puede constituir un eje temático para un diseño educativo que desee apostar tanto por la transformación curricular, como por una mejor formación de ciudadanos/as en la escuela.

## II.- PLANTEAMIENTO DE LA TEMÁTICA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

En la figura 1 se expone el esquema general de lo que a nuestro juicio constituyen las cuestiones fundamentales del planteamiento de la temática que se aborda. Como en cualquier investigación científica, siempre partimos de una realidad -hechos-, que se pueden resumir en los tres que señalamos en dicho esquema. Lo más importante que deseamos incidir, es que no nos encontramos ante un hecho nuevo, ni en la historia de nuestro planeta, ni en la historia de nuestra especie en el mismo. No es pues la primera vez que la Tierra sufre un cambio climático. Pero con relación a la que puede estarse dando en la actualidad, la comunidad científica se ha inclinado por dos hipótesis diferentes, como veremos más detenidamente en el siguiente apartado aunque, al parecer, hay mayoría de los que se inclinan por el calentamiento global de nuestro planeta a causa sobre todo de la civilización industrial.

Para clarificar una u otra hipótesis se necesitan herramientas de investigación distintas, pero sobre todo, se trata de una problema de escala temporal respecto a los datos registrados o que fácilmente se puedan registrar. Así, para el caso de investigar acerca de sí la Tierra camina hacia una nueva glaciación, los registros geológicos necesitan tener en cuenta una escala de miles de años, mientras que para analizar las variaciones climáticas actuales sirven los datos suministrados en décadas. De todas maneras, dichas variaciones pueden ser percibidas bien a escala de mesoclima o de macroclima (véase el Glosario).

Quizá lo que más nos puede interesar respecto al tema que nos ocupa son las consecuencias del cambio climático tanto a nivel del planeta como al nivel de nuestro propio país. Por ello también abordaremos a continuación lo que son los principales impactos de este hecho así como sus posibles efectos ecológicos.

**EL CAMBIO DE CLIMA**

**LOS HECHOS**

- SIEMPRE HA HABIDO CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA TIERRA

- TAMBIÉN HA HABIDO CAMBIOS CLIMÁTICOS DESDE LA APARICIÓN DEL HOMBRE EN LA TIERRA

CAMBIOS SOCIALES, POLÍTICOS, ECONÓMICOS EN LA HISTORIA DE LAS CIVILIZACIONES

- LA COMPOSICIÓN DE LA ATMOSFERA TERRESTRE HA CAMBIADO

**LAS HIPOTESIS EXPLICATIVAS**

EL ENFRIAMIENTO PAULATINO  
(provocado por factores naturales)

EL CALENTAMIENTO  
(factores antrópicos: consecuencia la civilización industrial y tecnológica)  
(factores naturales: "El Niño")

**EL PROBLEMA DE LA ESCALA EN LA INVESTIGACIÓN**

- CAMBIOS O FLUCTUACIONES

**ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS ACTUALES**

A ESCALA DE MESOCLIMA

- Islas de calor urbanas
- Sequía y desertización

A ESCALA DE MACROCLIMA

- Aumento del efecto invernadero
- Reducción de la capa de ozono

**CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

A NIVEL DEL PLANETA

CONSECUENCIA PARA NUESTRO PAÍS

Figura No.1 Esquema del planteamiento general.

### III.- LAS HIPÓTESIS EXPLICATIVAS Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Hasta hace poco más de quince años, los estudiosos del clima consideraban que la Tierra se encaminaba, con el característico ritmo lentísimo de los procesos geológicos, hacia una nueva glaciación. Veamos algunas cuestiones necesarias para centrar las hipótesis del actual cambio climático. Hoy, apenas nadie piensa así, sino que se cree que, por el contrario, caminamos hacia un mayor calentamiento.

La atmósfera terrestre ha experimentado grandes cambios en su composición a lo largo de la historia de nuestro planeta. No nos debería extrañar, pues, el que ahora nosotros percibamos cambios. Aunque sabemos que la atmósfera actual no puede derivar de la envoltura gaseosa de la Tierra, que debió perderse en su mayor parte y que seguramente representa una segregación posterior de la corteza terrestre, a la vez que ha tenido discontinuidades ligadas a la historia de la vida, hay que conocer el origen de la misma en la medida de lo posible. No miremos tan sólo a nuestro planeta sin tener en cuenta el sistema al que pertenecemos (sistema solar).

¿Cómo se formó la Tierra y evolucionó su atmósfera? No es posible entrar en detalles, pero sí diremos que para Venus, la Tierra y Marte se desarrolló una atmósfera de gases que durante mucho tiempo guardaron gran parecido entre sí. En los tres casos el clima fue tan templado que el agua, en su forma líquida, pudo cubrir grandes extensiones de las superficies de estos planetas. Sin embargo, Venus recibió más tarde (hace aproximadamente mil quinientos millones de años) una radiación solar el doble de fuerte que la Tierra, evaporándose su océano y dando lugar a una composición atmosférica diferente. Además, su intensa actividad volcánica la fue enriqueciendo poco a poco en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> en un 96%).

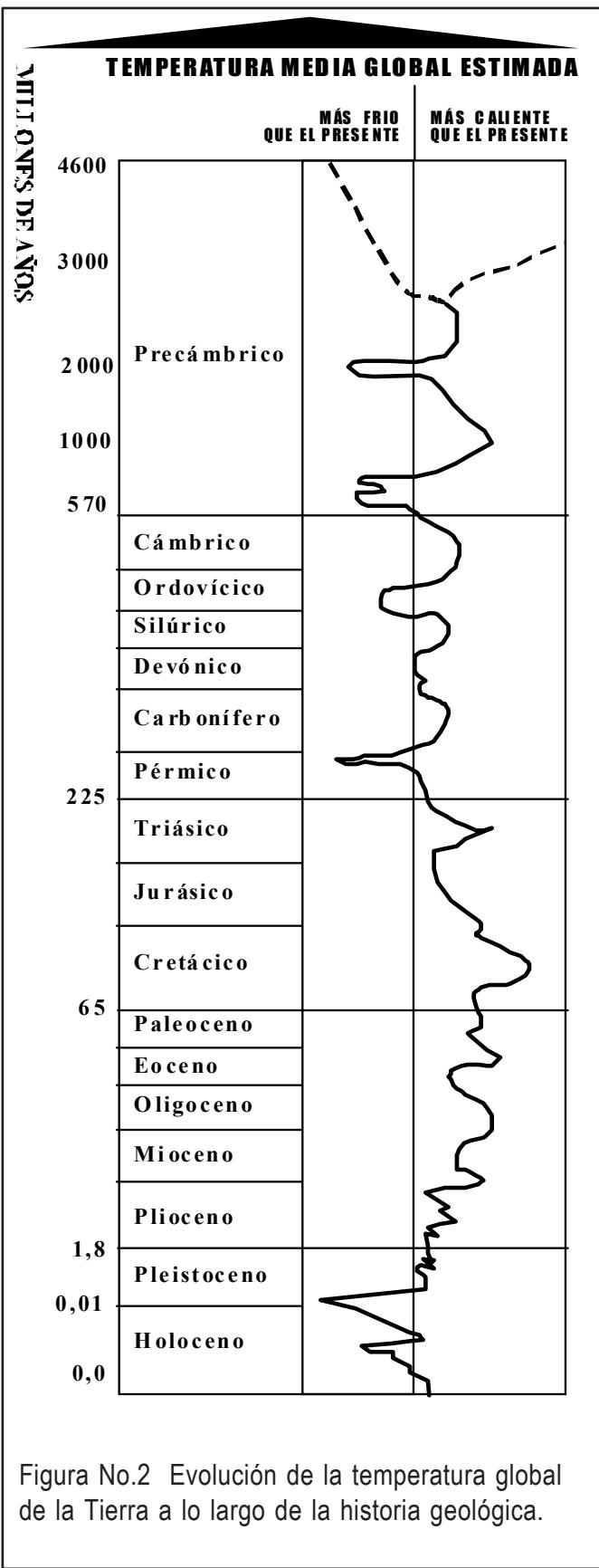


Figura No.2 Evolución de la temperatura global de la Tierra a lo largo de la historia geológica.

Precisamente esa alta concentración se encarga de mantener la altísima temperatura ( $482^{\circ}\text{C}$ ) en la superficie de Venus. Por el contrario, sobre la superficie de Marte sobrevino un frío intenso, mientras que la Tierra conservó su atmósfera apenas sin pérdidas de agua al universo. Y es que la masa de agua líquida es sumamente importante para asegurar equilibrada la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, responsable éste de mantener la temperatura media terrestre en los límites adecuados. Sin este gas en nuestra atmósfera, la temperatura media de la Tierra no excedería de  $6,75^{\circ}\text{C}$ .

Pero nuestro planeta azul ve aumentar día a día la concentración de CO<sub>2</sub> señalada. Por eso, todo parece predecir que caminamos hacia situaciones de más calor. De ahí el símil con el planeta Venus. Pero ello implica también la posible desaparición de los grandes casquetes de hielo con la consiguiente subida del nivel del mar. No obstante, si tenemos en cuenta el esquema de los cambios climáticos habidos en la Tierra desde su formación hasta la era cuaternaria (en que aparece el hombre), la temperatura media global estimada para las épocas actuales está por debajo de las alcanzadas en otras pasadas (ver figura 2). Esto ha llevado, pues, a plantearse el que la Tierra camina hacia un enfriamiento, por lo que hay quienes piensan que "caminamos hacia Marte".

¿Habrá más períodos glaciales en el futuro? Las fluctuaciones en el registro isotópico no dan señales de disminuir. Quizá nuestro planeta haya atravesado su último periodo glacial si atendemos a la acción ejercida por el hombre sobre el clima. A medida que progresla industrialización, que se queman más combustibles, se produce un calentamiento apreciable de la Tierra.

Este calentamiento de la temperatura media global suficientemente grande, supera cualquier enfriamiento provocado por las variaciones orbitales. No olvidemos tampoco que la Tierra no es el único planeta cuyo clima puede quedar afectado por variaciones de la órbita y su inclinación axial. Marte tiene fluctuaciones orbitales mucho mayores porque está próximo a Júpiter.

El clima de la tierra es el resultado de multitud de procesos impulsados por la energía que nos llega del sol, entre las partes constitutivas de nuestro planeta: atmósfera, hidrosfera (aguas líquidas), litosfera (corteza terrestre), criósfera (hielos) y biosfera (seres vivos). El conocimiento elemental del balance energético de la Tierra parece a priori suficiente como para predecir que el aumento progresivo de la concentración de efecto invernadero debe conducir en algún momento a un calentamiento global. Las series paleoclimáticas parecen estar de acuerdo con el efecto invernadero. Sin embargo, el sistema climático es función de interacciones y retroalimentaciones de múltiples variables y, por tanto, para elaborar una predicción del clima es necesaria la utilización de modelos numéricos que incluyan, en la medida de lo posible, una descripción matemática de los procesos que componen el sistema. Así pues, las series paleoclimáticas pueden proporcionar una estimación de la sensibilidad de la temperatura de la Tierra frente a distintas concentraciones de CO<sub>2</sub> (ver figura 3). Sin embargo, no se puede predecir el cambio futuro a partir de esta estimación.

Los modelos de clima global, por su parte, son formulaciones matemáticas que integran procesos que componen el sistema climático. Estos modelos simulan el clima resolviendo las ecuaciones fundamentales de las leyes físicas de conservación (de masa, momento y energía) que describen la redistribución de la cantidad de movimiento, calor y vapor de agua que se produce a través de los movimientos atmosféricos. Hoy día constituyen la herramienta más poderosa de la experimentación meteorológica y climática.

Tres son las líneas actuales de investigación de los cambios climáticos. Por una lado, las que analizan los cambios y las tendencias a largo plazo para los que los testigos geomorfológicos y edáficos y los recientes descubrimientos sobre el contenido de CO<sub>2</sub> y otros gases atmosféricos en los hielos cuaternarios, constituyen las pruebas más concluyentes de los cambios climáticos ocurridos en el pasado. Otra línea se refiere a los cambios que tratan de las tendencias a un plazo más corto, a partir de testimonios de diversa índole que permitan reconstruir las condiciones climáticas en épocas históricas. Y, finalmente, las que tratan de analizar las variaciones más recientes del clima a partir de las series medidas con instrumentos modernos. Así, podemos decir que las investigaciones actuales se articulan en torno a tres objetivos: detectar los posibles cambios, la modelización del sistema y la validación del mismo mediante puntos de referencia.

## IV.- VARIACIONES CLIMÁTICAS CON RELACIÓN A CAUSAS NATURALES

El clima presenta una amplia gama de regímenes locales y regionales que reflejan las diferencias en los fenómenos atmosféricos y en las características topográficas. Por otra parte, en muchos países se albergan sociedades distintas, con sus propias pautas de explotación del suelo, cada una de las cuales requiere de unos recursos hídricos distintos. Podíamos así poner el ejemplo de las sequías, fenómenos bastante frecuentes a escala mundial. Su incidencia varía considerablemente de un año a otro, y a un año de ligera sequía puede sucederle otro con sequías pertinaces. Hablamos, por tanto, de variaciones climáticas. Estas sufren ritmos temporales, a tres escalas de tiempo relevantes: el milenio, la década y el año. Pero no es fácil asociar cada uno de los cambios percibidos a su escala de temporalidad ni relacionarlo con una sola causa. Así por ejemplo, los datos meteorológicos europeos en el último siglo revelan que han subido las temperaturas en Europa, con un relativo enfriamiento en la región mediterránea oriental, han aumentado también las precipitaciones en el Norte y han disminuido en el Sur (sequía). Pero este primer estudio histórico de la red Europea del Clima concluye que las tendencias detectadas pueden ser debidas tanto a la variabilidad natural como al cambio climático inducido por la acción antrópica.

Continuando con el ejemplo de la sequía, a escala milenaria el servio Milankovitch planteó en 1930 la posibilidad de que los cambios en la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol incidían sobre el clima y así hoy se recurre al llamado "mecanismo Milankovitch" para predecir la tendencia a la aridez que se aprecia en el África subsahariana. Estos cambios que se producen a lo largo de varios milenios, son consecuencia de la atracción gravitatoria de los planetas mayores sobre la Tierra. Estamos pues ante variaciones climáticas perceptibles a escala milenaria.

Cuando se trata de los ciclos decenales y anuales, las conjeturas sobre las posibles causas de la sequía en África se centran en los factores naturales y en los humanos. Entre los primeros cabe citar las fluctuaciones imprevisibles sobre el clima a corto plazo, las variaciones en la temperatura superficial del agua del océano Atlántico, los fenómenos asociados a la oscilación del Sur - "El Niño"- Entre los factores humanos figura el aumento del contenido de dióxido de carbono y de otros rasgos residuales radiactivos en la atmósfera como consecuencia de la actividad humana.

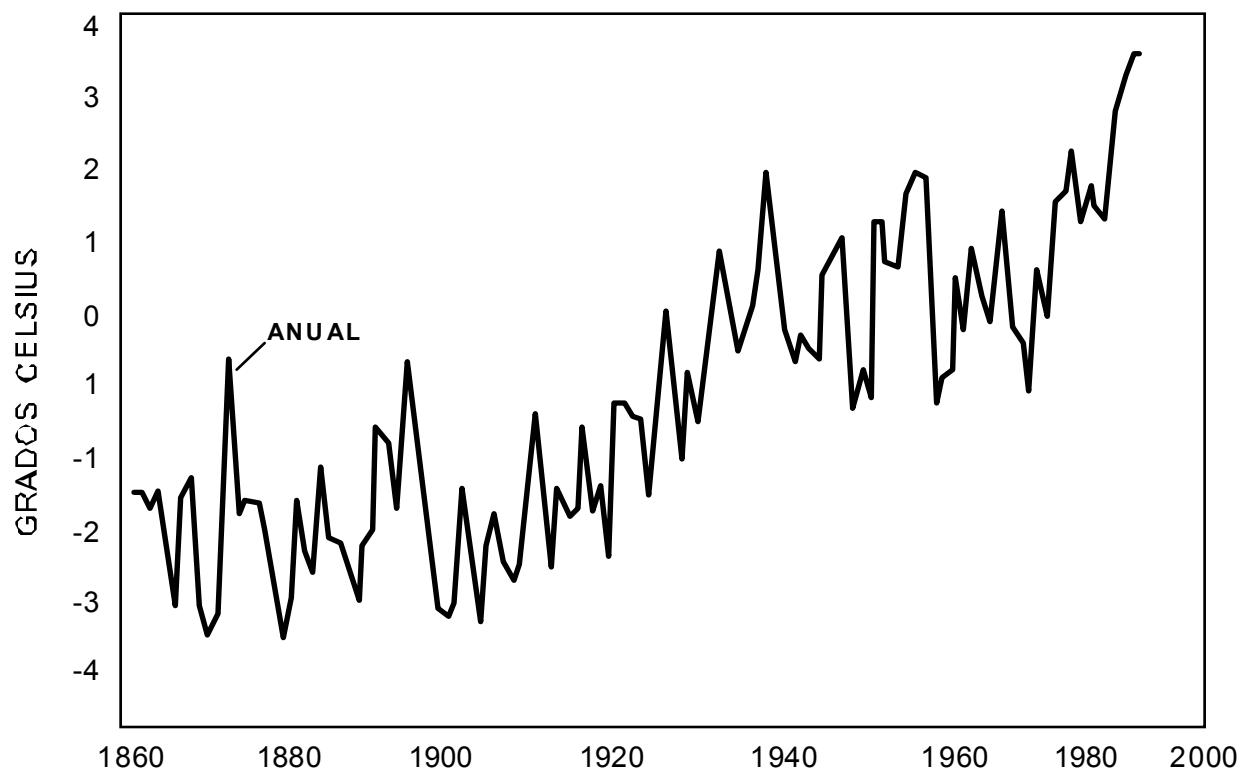


Figura No.3 FLUCTUACIONES NATURALES en la curva de temperatura, plausibles enmascaradoras del calentamiento global. Aquí las temperaturas globales se han corregido eliminando los efectos de El Niño, que rebaja la temperatura media global. Otros sucesos naturales, como las erupciones volcánicas, pueden producir también un efecto sobre el clima de enfriamiento a corto plazo y ocultar el calentamiento global.

## *4.1 Las variaciones de actividad solar*

Según el análisis paleoclimático, se han dado cambios climáticos ocurridos por variaciones periódicas en la irradiación solar. Pero se requiere un registro preciso de la larga duración de las variaciones de la luminosidad solar para obtener la evidencia empírica de la función del sol en el cambio del clima y separarla de otros factores de cambio climático. De todas formas, el tema de las influencias solares en el cambio global del clima ha sido identificada como uno de los siete temas científicos básicos de la investigación en la temática que nos ocupa (Ver cuadro N°7).

Si existieran cambios constantes en la denominada "Irradiación Total Solar" (tsi, en inglés) tan pequeños como algunas décimas de grado por siglo, podrían ser factores primarios de origen de algunos cambios de clima en escalas de tiempo que van desde décadas a siglos. Sabemos que el Sol es una estrella variable. Se ha encontrado que su luminosidad varía alrededor del 0,1% en un ciclo solar en fase con el nivel de actividad solar magnética. Las observaciones fotométricas de muchas estrellas del tipo solar han revelado que las variaciones en brillo correlacionadas con la actividad magnética - como sucede en el Sol - son un fenómeno común. Muchas demuestran una mayor variabilidad que el Sol, lo que lleva a pensar que la variabilidad solar:

- a) Ha sido mayor en el pasado.
- b) Podría serlo nuevamente en el futuro y ésto tendría importantes implicaciones en el cambio climático.

## *4.2 El Niño y la oscilación austral (ENSO, del inglés "El Niño Southern Oscillation") y "La Niña"*

Este fenómeno es una fluctuación interanual entre los estados calientes conocidos como "El Niño" y los estados fríos, "La Niña". Los vientos alisios que prevalecen en el Pacífico Tropical son excepcionalmente intensos durante la Niña, y llevan aguas superficiales hacia el Oeste, mientras que en el Este se observan aguas frías. Durante El Niño, los vientos alisios disminuyen y el agua caliente vuelve hacia el Este.

El punto de vista expuesto acerca de la explicación de este fenómeno es el oceanográfico. Pero para los meteorólogos, la razón de los intensos alisios durante la Niña es el área, relativamente pequeña, de aguas superficiales calientes en el área oeste del Pacífico Tropical. En esta región, que es de una nubosidad y precipitaciones fuertes, se eleva el aire húmedo ocasionando una concentración de masas de aire cerca de la superficie oceánica. Esta convergencia ocasiona los alisios hacia el Oeste en todo el Pacífico. Cuando esta área de temperaturas superficiales cálidas es grande (durante El Niño), existe un movimiento ascendente de las masas de aire, nubosidad y lluvias fuertes en casi todo el Pacífico Tropical, la componente Este- Oeste del viento se debilita y en su lugar, los vientos soplan hacia el Ecuador para mantener el movimiento ascendente. Entonces los oceanógrafos explican una SO (Oscilación del Sur) en función de cambios de vientos, mientras que los meteorólogos atribuyen las variaciones a cambios en el océano (Ver figuras nº 4 y 5).

El Niño se produce a intervalos irregulares (de ahí la dificultad en las precisiones de sus consecuencias para un momento dado). Quizá esta causa, y el hecho que se produzcan estos fenómenos en una de las regiones más despobladas del globo, durante mucho tiempo sólo interesó su estudio a muy pocos investigadores. Y probablemente hubiera seguido desapercibido (científicamente hablando) de no haberse descubierto su relación con el tiempo reinante en otras regiones, entre ellas Estados Unidos. Desde hace más de un siglo los pescadores vienen llamando El Niño, en honor al Niño Jesús, a la aparición anual, hacia la Navidad, de agua caliente mar adentro de las costas de Ecuador y el Norte de Perú. La superficie del océano es allá más bien fría si la comparamos con las aguas ecuatoriales típicas; se mantiene así la causa de la corriente del Perú que avanza hacia el Norte y aleja de las costas el agua superficial, permitiendo que el agua más fría aflore de las profundidades. El agua fresca es rica en nutrientes, principalmente en fosfatos y nitratos que alimentan al fitoplacton y mantienen en último término el caladero peruano de anchoas, la región pesquera más extensa del mundo para estos organismos. Hacia la Navidad, una corriente cálida desplaza el agua fresca, empobreciendo el afloramiento de nutrientes y la pesca baja entonces, aunque no mucho. El calentamiento no trasciende la zona septentrional del Perú y suele terminar en marzo o abril.

## Un fenómeno que afecta al clima del mundo

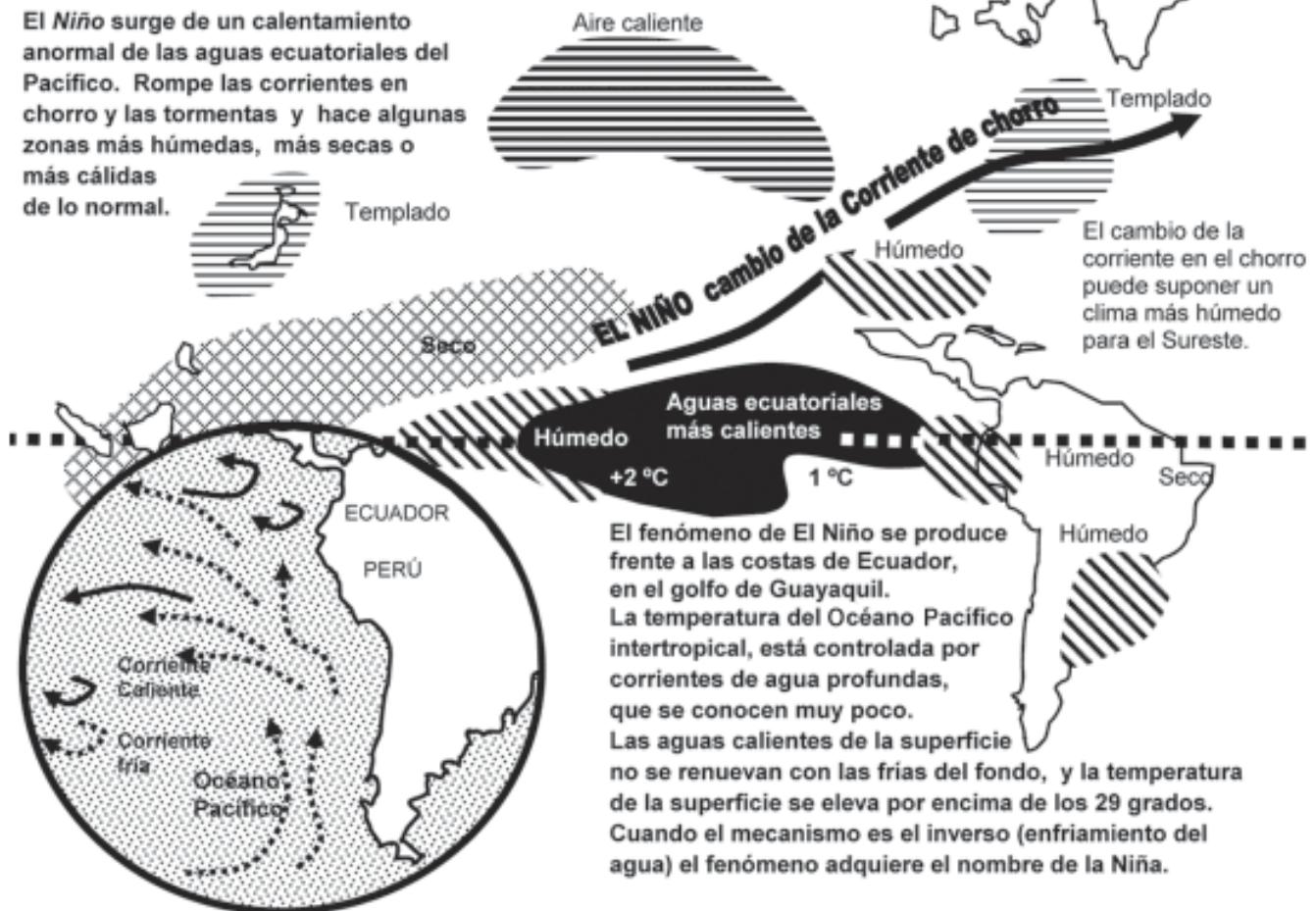


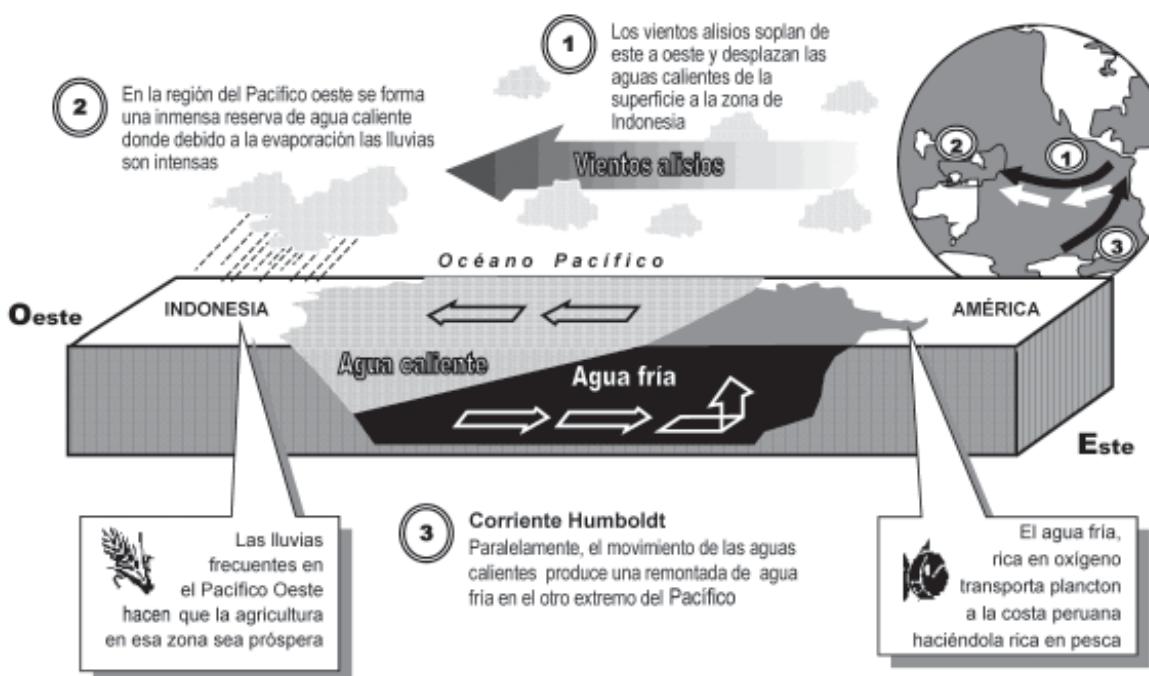
Figura No.4 Fenómeno "El Niño".

Pero en algunas ocasiones, "El Niño" llega con redoblada intensidad y extiende sus límites espacio-temporales. En vez de volver a su valor normal en marzo o abril, las temperaturas en la superficie del mar suben a lo largo de toda la costa del Perú y en toda la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial. Las temperaturas se mantienen altas durante más de un año. Así fueron las apariciones correspondientes a los años 1953, 1957-58, 1965, 1972-73, 1976-77, 1982-83, cuando la temperatura de la superficie del océano ante las costas peruanas subió más de siete grados Celsius. En los círculos científicos, e incluso en las informaciones de los medios de comunicación la expresión "El Niño" suele reservarse a los episodios intensos, excluyendo el calentamiento anual y bastante suave (entre uno y dos grados) de la superficie del océano. Con bastante probabilidad podíamos hablar de uno

de estos episodios de "El Niño" durante 1997-98. No sabemos a ciencia cierta si podemos afirmar que los efectos de este fenómeno se han multiplicado por culpa del cambio climático o, por el contrario, este evento es una causa natural del calentamiento de la Tierra. Alguno de los efectos devastadores que "El Niño" ha producido en los últimos tiempos pueden resumirse en algunos de los hechos siguientes:

- Sequía en Panamá, como para reducir el Canal de Panamá (más de 1.500 barcos han dejado de cruzar América por esta vía, con más de 84 años de antigüedad, debido a la peor sequía de la historia, con un descenso del 35% de las precipitaciones normales durante 1998).
- Sequía en Colombia, con racionamiento de agua y electricidad.
- Sequía generalizada en el Sur de Asia y tormentas en otras de dicho continente. Sequías e inundaciones se dan en el mismo país, por esta causa, como lo ocurrido también en Bolivia durante el pasado 1998.
- En todo el continente africano, los daños son evidentes en las cosechas y sobre todo la muerte por hambre en la población del Sudán.
- Lluvias del 200% por encima de lo normal en la parte noroeste de los Estados Unidos y récord de nevadas.

El fenómeno de "El Niño" en el 1998 ha sido considerado el más catastrófico y devastador del siglo, tanto como para haberse dicho que ha dibujado un nuevo mapa de América Latina. Las consecuencias de El Niño siguen afectando a muchos de los más de 60 países que han padecido graves inundaciones y sequías a consecuencia de las anomalías del clima. En abril de 1998, decía un documento de la FAO, que en 40 países habían tenido inundaciones y en 22 sequía, debido al fenómeno de El Niño. La población agrícola en América Latina es especialmente vulnerable a los efectos de El Niño. Los cultivos de cereales y frijoles se ven afectados en casi todos los países de América Central y el Caribe.

**Cuando la situación es normal****Cuando se produce "El Niño"****La aproximación de presiones**

Con el "Niño" y debido a la debilitación de los viento alisios, las aguas calientes regresan al Este por lo que la diferencia térmica entre ambos lados del Pacífico se reduce. Esto provoca a su vez una nueva disminución de los alisios. Medir las presiones es una forma de detectarlo.

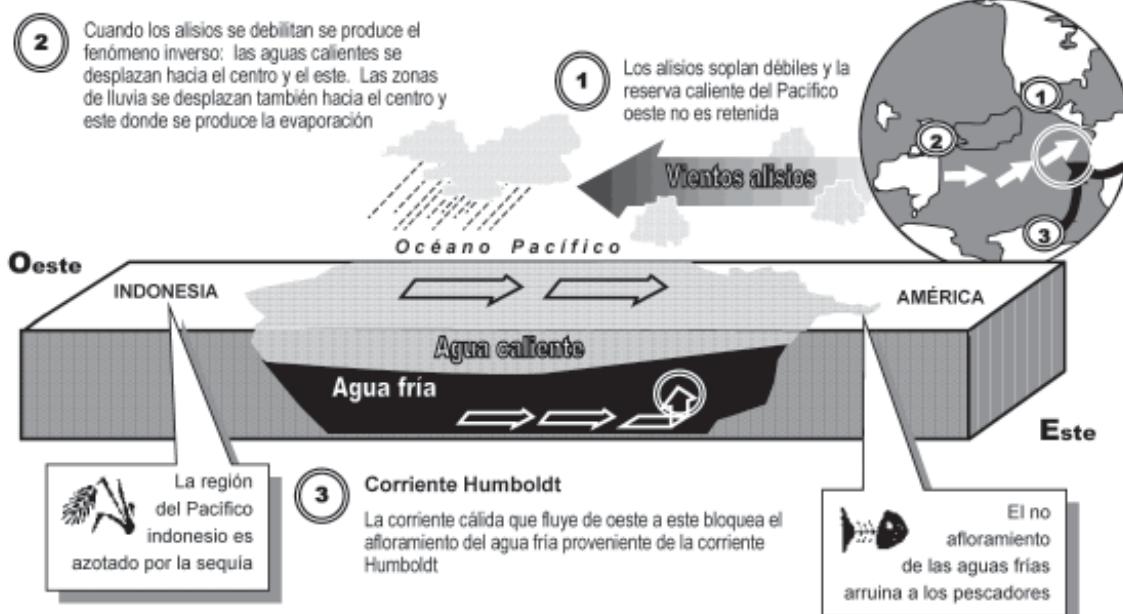


Figura No.5 Esquemas comparativos entre una situación normal y cuando se produce "El Niño".

## V.- VARIACIONES CLIMÁTICAS ACTUALES CON RELACIÓN A CAUSAS ANTROPOGÉNICAS

### 5.1 *Islas de calor urbanas*

A escala regional, las modificaciones meteorológicas que van asociadas a la contaminación atmosférica, se conocen desde hace tiempo y no presentan dudas. Las zonas urbanas muy contaminadas presentan una variación sensible de su mesoclima, el cual difiere notablemente del de las zonas rurales adyacentes (Cuadro nº 1). El efecto principal tiene lugar sobre la insolación, que se encuentra reducida debido a la falta de transparencia de las capas bajas de la atmósfera. Ésto constituye un serio problema para las ciudades industriales desde hace un siglo. Esa niebla tóxica fotoquímica que cubre dichas ciudades es el principal factor de reducción del flujo solar en el medio urbano. Su aparición está ligada ante todo a la presencia de una inversión de temperatura. Este fenómeno meteorológico se caracteriza por una modificación del gradiente térmico de la troposfera.

La temperatura de las ciudades es siempre superior a la de las zonas rurales. La constitución de estos islotes de calor depende de varios factores: existencia de fuentes térmicas de origen artificial (calefacción, vehículos de motor, máquinas, etc.) y la radiación característica de las construcciones urbanas. En muchas ciudades hay grandes inmuebles verticales cuyos muros reflejan la radiación solar hacia el suelo, mientras que en los campos, la superficie horizontal de la tierra la refleja hacia el espacio (ver figura 6). Además, muchos edificios están construidos con materiales tales como hormigón o ladrillo, que absorben fuertemente las radiaciones y acumulan calor. Unamos a ello la gran cantidad de asfalto, que es también mal conductor térmico.

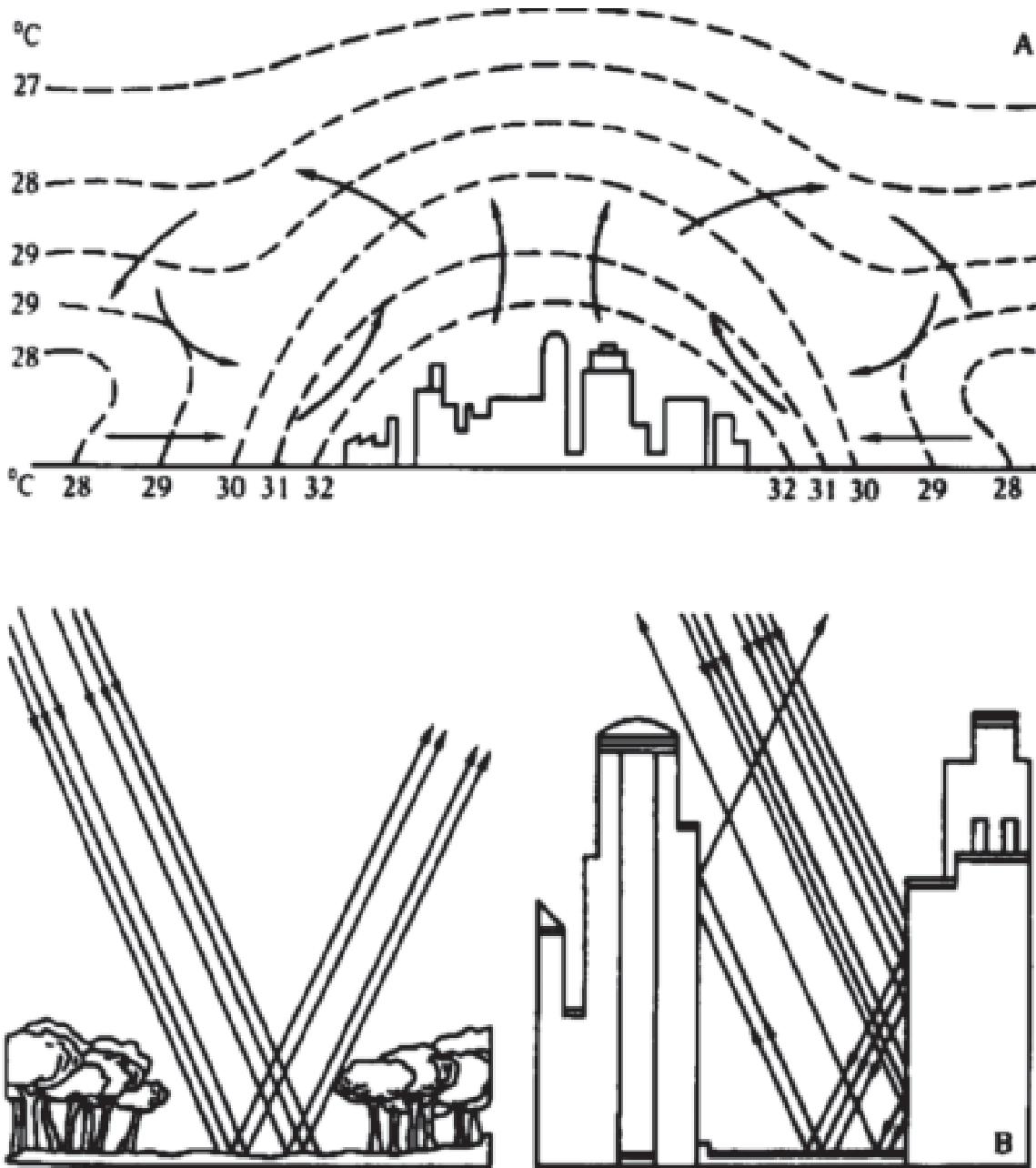


Figura No.6

**Isla de Calor Urbana.** A: Líneas isotermas que muestran la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la ciudad. Sobre la ciudad se generan movimientos ascendentes del aire. La depresión térmica correspondiente puede dar lugar a vientos dirigidos hacia el núcleo urbano. B: Influencia de los edificios sobre el albedo. En las ciudades se da menor poder reflector como consecuencia de la reflexión de la radiación solar hacia el suelo provocada por las paredes verticales. (Modificado de BESSEMOULIN et. Al. 1983).

**Cambios climáticos producidos en las ciudades (LAMSBERG, 1962)**

ELEMENTO DEL CLIMA O FACTOR AMBIENTAL	COMPARADO CON EL MEDIO RURAL
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	
Media anual	6% más baja
Invierno	2% más baja
Verano	8% más baja
<b>TEMPERATURA</b>	
Media anual	De 0,5° a 0,8° C más alta
Media invernal	De 1,1° a 1,7° C más alta
<b>PARTICULAS DE POLVO</b>	
	10 veces más
<b>NUBOSIDAD</b>	
Nubes	Del 5% al 10% más
Niebla invernal	100% más
Niebla estival	30% más
<b>RADIACIÓN</b>	
Total sobre la superficie horizontal	Del 15% al 20% menos
Ultravioleta, invierno	30% menos
Ultravioleta, verano	5% menos
<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	
Media anual	Del 20% al 30% menos
Ráfagas extremas	Del 10% al 20% menos
Calma	Del 5% al 20% menos
<b>PRECIPITACIÓN</b>	
Global	Del 5% al 10% más
Días de lluvia	10% más

Cuadro No.1 Variaciones climáticas producidas en el medio urbano en comparación con el medio rural.

Estas características de las ciudades hacen que en un periodo anticiclónico estén coronadas por una masa de aire caliente (y contaminado) que tiende a elevarse por encima de la aglomeración y en la cual se da todo un sistema de corrientes de convención. Esta masa de aire contaminado por gases y polvo forma una cúpula de altura creciente que sólo desaparece cuando se levanta el viento o llueve.

Resumiendo, podemos decir que las grandes ciudades son unos grados centígrados más calientes que las zonas rurales que las circundan -se trata de contaminación térmica-, y su precipitación también puede ser diferente en cantidad y calidad -contaminación química-. En estas islas urbanas además disminuye la visibilidad y aumentan los aerosoles tóxicos (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, de azufre, etc.) con sus particulares efectos también sobre el clima.

## *5.2 Aumento del efecto invernadero*

El "Efecto invernadero" no es algo reciente que hayamos conocido en la actualidad. Es una característica natural de nuestra atmósfera: ciertos gases como el vapor de agua, el anhídrido carbónico y el metano son los denominados "gases invernadero" porque ellos capturan el calor solar de las capas inferiores de la atmósfera; sin ellos nuestro planeta estaría congelado. Pero las actividades humanas están causando la emisión acelerada a la atmósfera de anhídrido carbónico o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de otros gases como el metano (CH<sub>4</sub>); óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Ozono (O<sub>3</sub>) y halogenuros de carbono (los también denominados compuestos clorofluocarbonados o CFCs) que tienden a bloquear la emisión infrarroja terrestre, pudiendo acusar desviaciones en el balance de la transmisión de energía entre la Tierra y la atmósfera. Ésto implica un aumento de temperatura y una alteración de los regímenes hídricos. La mayor concentración pues de estos gases ha hecho aumentar su efecto invernadero. Se denomina así por su analogía, aunque no sea exacta, a la acción del cristal de un invernadero. Es decir, el vidrio de un invernadero permite el paso libre de la luz solar, pero evita que escape el calor, al impedir, sobre todo, que el aire caliente del interior del invernadero se mezcle con el aire exterior. De manera pues análoga, los gases citados mantienen una relativa transparencia a la luz solar, pero aprisionan de forma eficaz el calor al absorber la radiación infrarroja de mayor longitud de onda emitida por la Tierra.

Actualmente se conoce bien la capacidad de la atmósfera para retener el calor. Vista desde el espacio, la Tierra radia energía a longitudes de onda e intensidades características de un cuerpo a 18° C (grados Celsius). No obstante, la temperatura media en la superficie es unos 33 grados más alta: el calor queda aprisionado entre la superficie y el nivel medio, en la parte alta de la atmósfera, desde donde escapa la radiación.

Con la excepción del vapor de agua (cuya concentración está ligeramente limitada por los fenómenos de condensación y precipitación), todos los gases de efecto invernadero han aumentado la concentración. El dióxido de carbono, cuya concentración preindustrial era de unos 280 ppm (partes por millón), alcanzaba las 315 ppm en 1958, al iniciarse su determinación sistemática y los 355 ppm en 1993. El metano, cuyo nivel preindustrial se acercaba a 0,8 ppm, alcanzaba 1,7 ppm en 1993. El incremento del óxido nitroso es menos espectacular, pero su concentración ha pasado de 0,28 a 0,31 ppm. En cuanto al ozono de las capas bajas de la atmósfera, los procesos de combustión industriales, los incendios de sabanas y bosques, unidos a la presencia de hidrocarburos de origen principalmente natural, han provocado un aumento de la concentración que, en el hemisferio norte ha pasado en un siglo de 0,01 a 0,05 ppm, aunque con variaciones locales o regionales dado que no es un gas de circulación global en la atmósfera. Por último, el resultado más claro de las actividades humanas concierne a los CFC, que no existen en estado natural y cuyo rápido crecimiento tiene indudables consecuencias inquietantes para la capa de ozono estratosférica, pero también una enorme influencia sobre el efecto invernadero. Véanse al respecto de esta cuestión las figuras y cuadros siguientes (Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, y 17, cuadros 2 y 3). En la figura 18 se muestra el intercambio de carbono entre la atmósfera y sus depósitos en la tierra. Los ciclos existentes - uno sobre tierra firme y otro sobre los océanos - eliminan de la atmósfera casi tanto carbono como le aportan, pero la actividad humana - deforestación y combustión de carburantes fósiles- está en la actualidad aumentando la cantidad de carbono atmosférico.

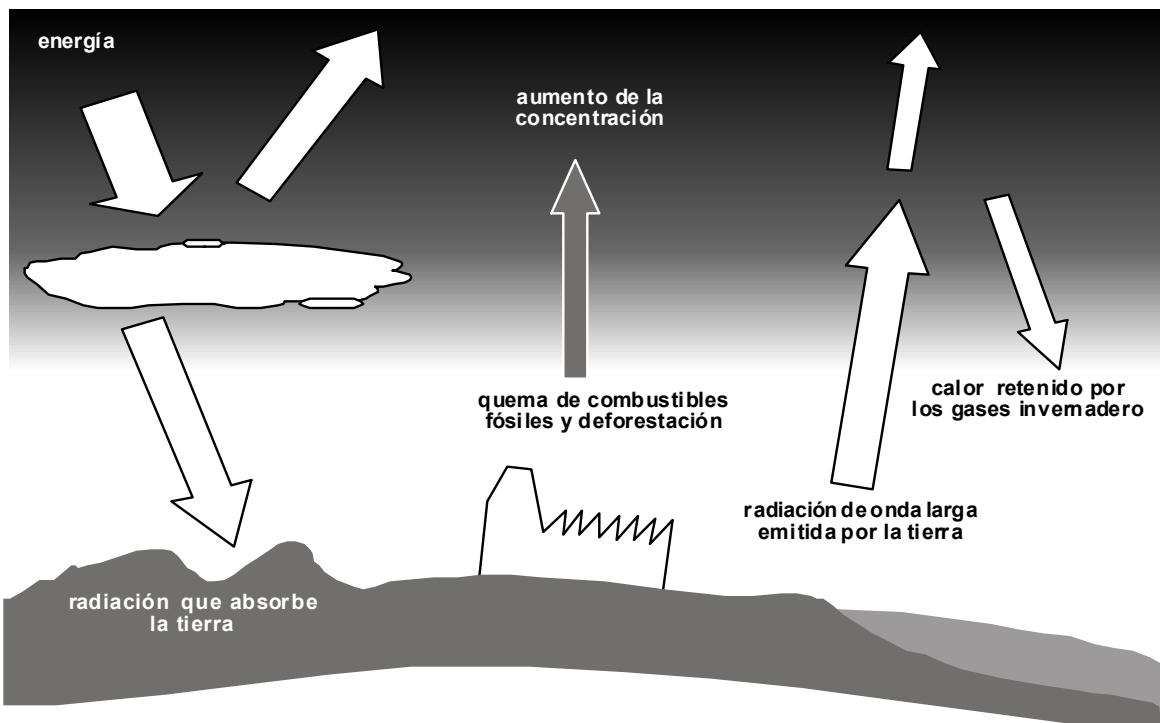


Figura No.7 El efecto invernadero.

### *5.3 Reducción de la capa de ozono*

La Tierra está rodeada por una envoltura gaseosa que es la atmósfera. Tradicionalmente se distinguen bien distintas capas superpuestas, de límites variables y no muy rigurosamente definidos: la troposfera (que alcanza hasta los 11 Kms de altura), la estratosfera (que llega hasta unos 45 Kms de distancia de la superficie de la Tierra) y la ionosfera (que iría de los 45 a los aproximadamente 100 Kms). El ozono, que es un elemento cuya molécula es de tres átomos de oxígeno, se encuentra esencialmente en la estratosfera y tiene como principal función el absorber la radiación solar de onda corta (ultravioleta). Las capas ricas en ozono tienen su mayor efectividad entre los 30 y los 50 Kms sobre la superficie terrestre. Actúa pues como un escudo protector para los seres vivos de nuestro planeta frente a los rayos ultravioletas procedentes del sol. Desde el punto de vista ecológico y biológico en general, si pasaran todos estos rayos, las consecuencias serían importantes. Sabemos que entre los efectos más sobresalientes de esta radiación sobre los organismos, se encuentra su acción mutagénica (con las repercusiones consabidas de aumento de cáncer de piel, por ejemplo) y bactericida. Así mismo, afecta a la fertilidad de los seres vivos y retarda su crecimiento.

#### LOS GASES ATMOSFÉRICOS RESPONSABLES DEL EFECTO INVERNADERO

SON AQUELLOS QUE TIENEN BANDAS IMPORTANTES EN EL INFRAROJO:

OZONO	TIENE UNA BANDA DEBIL A $4,7 \mu\text{m}$ Y OTRA IMPORTANTE A $9,6 \mu\text{m}$ HAY UNA TERCERA PERO QUEDA TAPADA POR OTROS GASES
EL VAPOR DE AGUA	TIENE DOS BANDAS ANCHAS E IMPORTANTES ( $6,3 \mu\text{m}$ Y $25 \mu\text{m}$ )
EL CO <sub>2</sub>	TIENEN TRES BANDAS: UNA MODERADA ( $4,0 \mu\text{m}$ ) OTRA DÉBIL ( $10,0 \mu\text{m}$ ) Y UNA MUY INTENSA ( $13,5$ - $18 \mu\text{m}$ ) Y ES LA QUE SE SUPERPONE A LA DEL OZONO OCULTÁNDOLA
CH <sub>4</sub>	TIENE DOS BANDAS ESTRECHAS (3 Y $7,2 \mu\text{m}$ )
OXIDO NITROSO (N <sub>2</sub> O)	DOS BANDAS (a $4,9$ y a $7,4 \mu\text{m}$ )
GASES-TRAZA (CFC)	

Cuadro No.2 Los gases atmosféricos responsables del efecto invernadero.

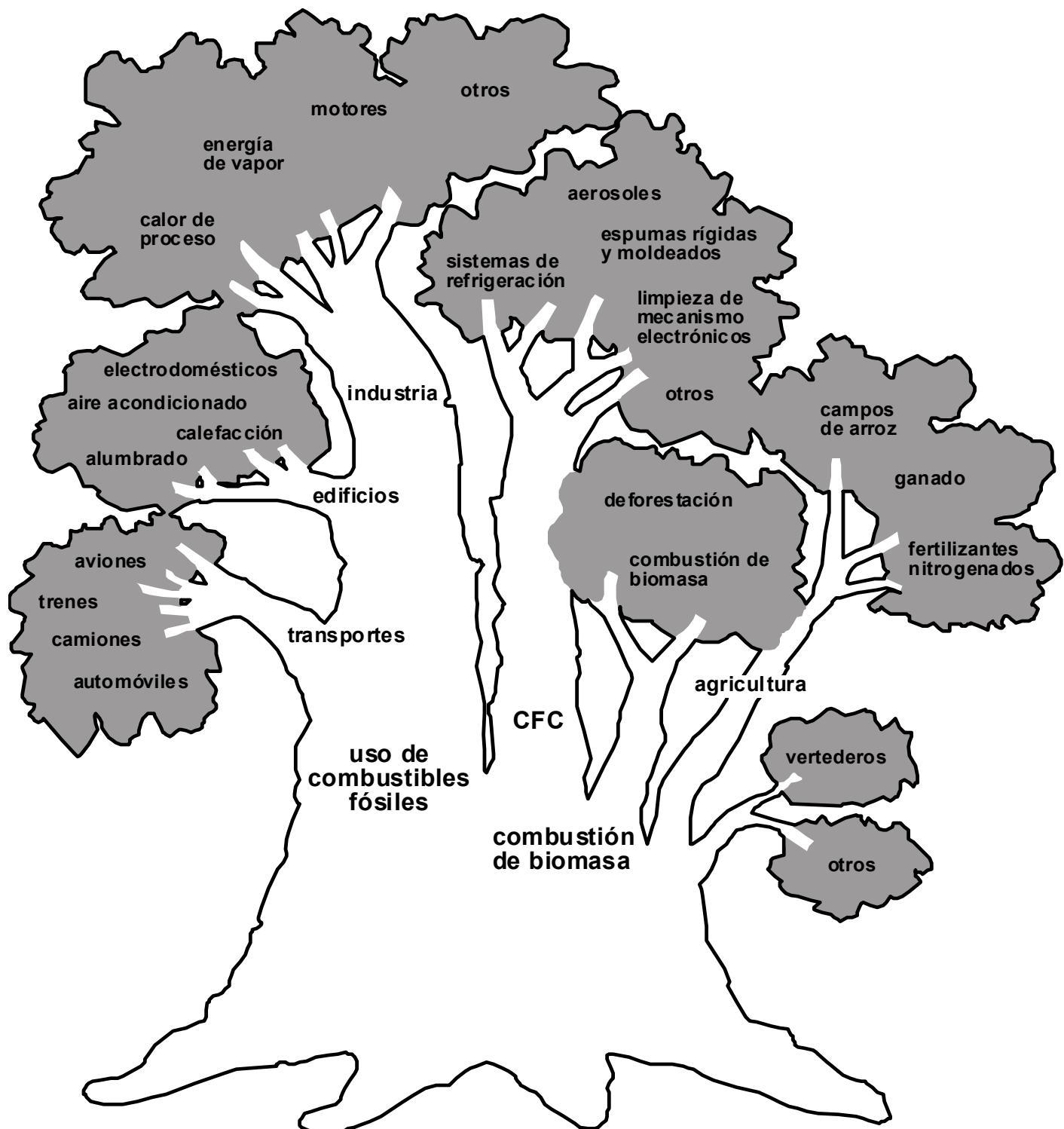


Figura No.8 Árbol de síntesis sobre las contribuciones humanas a la intensificación del efecto invernadero.

Por ello, cuando se empezó a observar un "agujero negro" periódicamente en la capa de ozono sobre la Antártida, el problema saltó a escala mundial. Pero señalados los efectos, hay que buscar las causas. Y es aquí donde se plantean distintas hipótesis que podemos resumir diciendo: ¿tiene el hombre toda la culpabilidad de que disminuya el ozono de esta capa de nuestra atmósfera? o ¿son más bien las causas naturales las responsables de su pérdida? A pesar de la confusión en los círculos científicos acerca de si la causa es una u otra, es reconocido en el ámbito mundial que nos encontramos ante un fenómeno que exige atención inmediata y cooperación internacional sobre todo por lo que se refiere a la acción antrópica. Es decir, que conocemos el hecho de que una familia de compuestos químicos que contienen cloro, flúor y carbono, CFC, son una amenaza para nuestro manto protector de ozono, ya que estos compuestos producidos industrialmente (fabricación de aerosoles y de espumas sintéticas en los sistemas de refrigeración), se elevan fácilmente hasta la estratosfera, donde son destruidos por los rayos ultravioletas. Esta descomposición libera el cloro de dichos compuestos, el cual no sólo destruye las moléculas del ozono, sino que actúa como catalizador, haciendo que la misma reacción se realice en miles de moléculas de ozono.

Figura No.9 Contribución de las actividades humanas a las emisiones de dióxido de carbono.

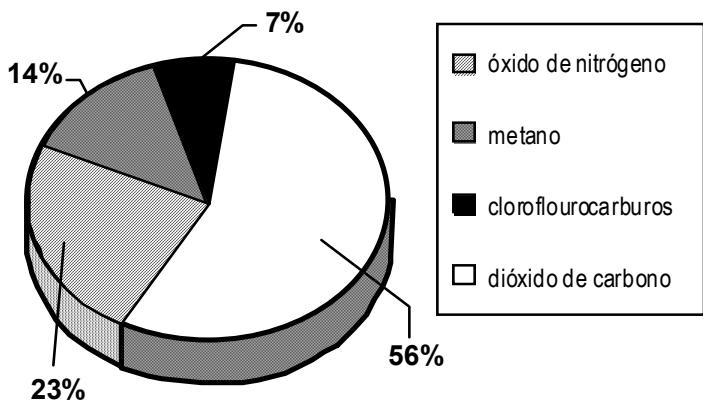
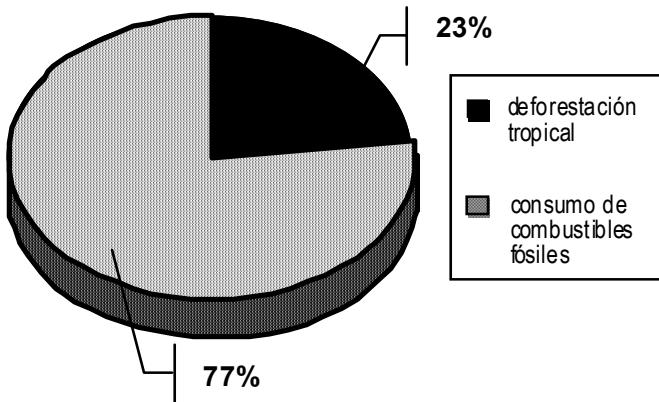


Figura No.10 Distribución de los gases de origen antropogénico que contribuyen al efecto invernadero.

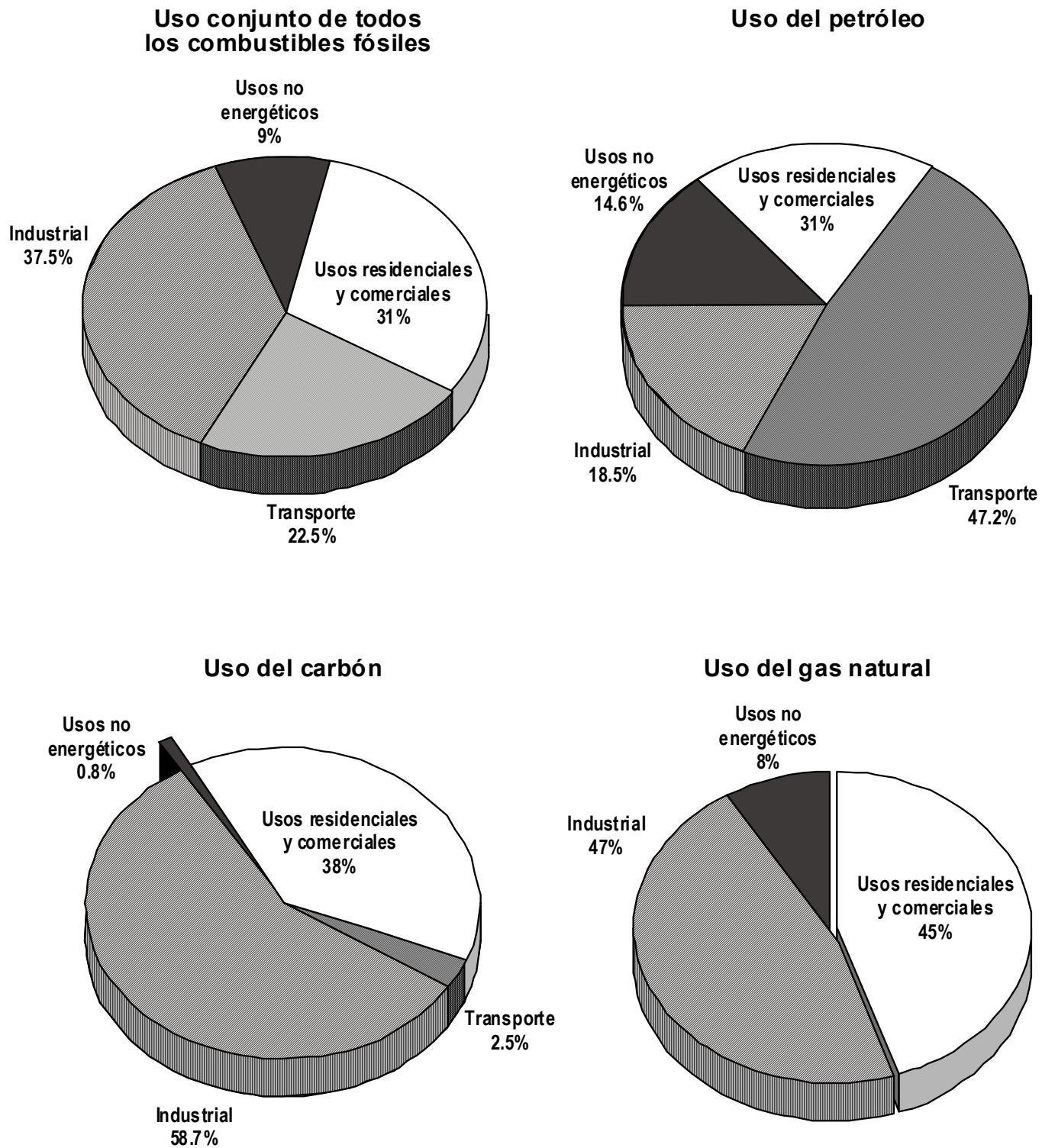


Figura No.11 Agentes responsables del consumo de combustibles fósiles.

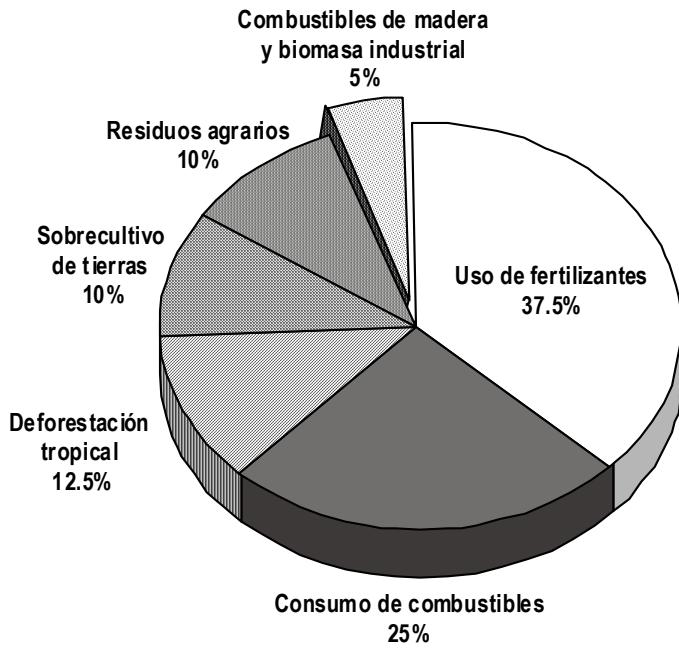


Figura No.12 Contribución de las actividades humanas a las emisiones de óxido de nitrógeno.

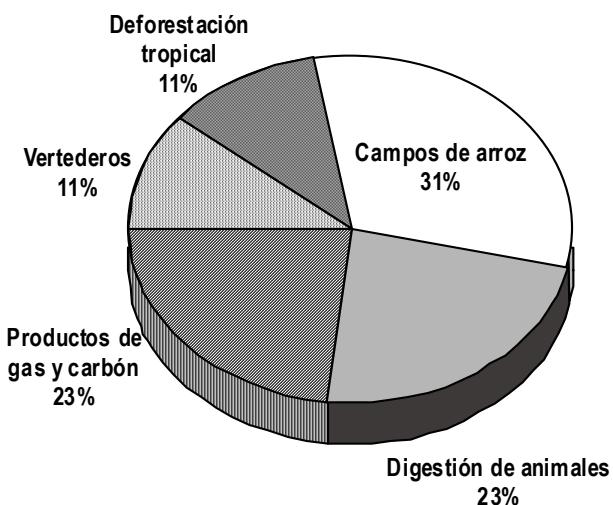


Figura No.13 Contribución de las actividades humanas a las emisiones de metano.

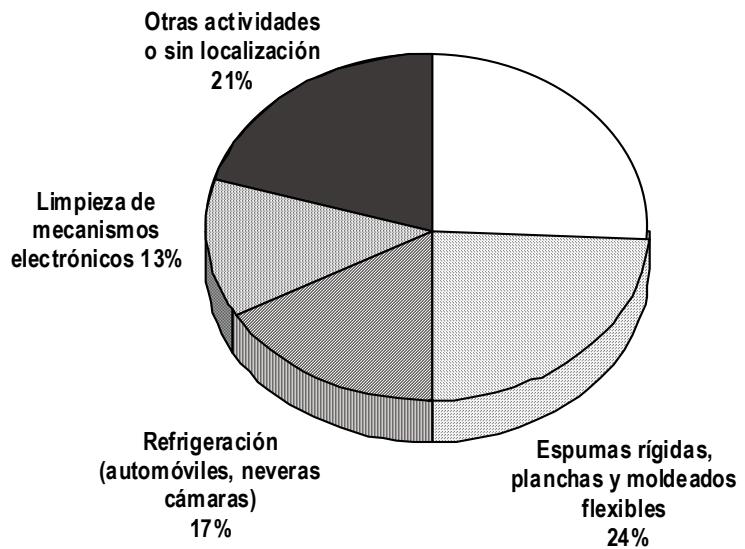


Figura No.14 Contribución de las actividades humanas a las emisiones de clorofluorcarbonos.

El primero de enero de 1989 entró en vigor el denominado "Protocolo de Montreal" para proteger la capa de ozono, por el cual se propuso reducir en un 50 %, desde esa fecha hasta los diez años siguientes, la producción y el consumo de sustancias peligrosas para la capa de ozono. Dicho Protocolo fue ratificado por 29 países y por la Comunidad Europea todos ellos representan el 80 % del consumo de las sustancias que se pretendieron controlar. En estos momentos no nos es posible evaluar los resultados del citado acuerdo, por falta de datos concisos.

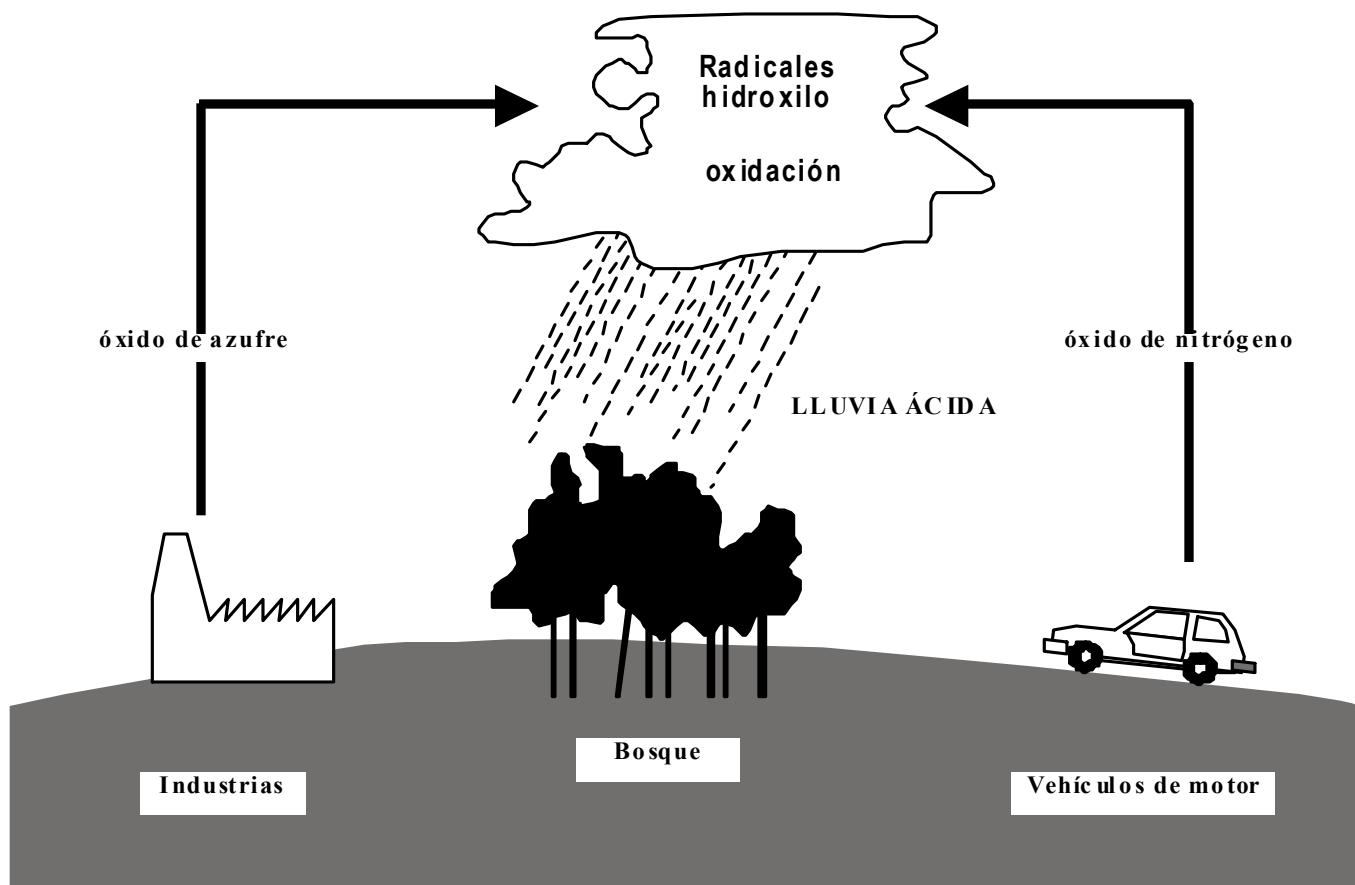


Figura No.15 La lluvia ácida.

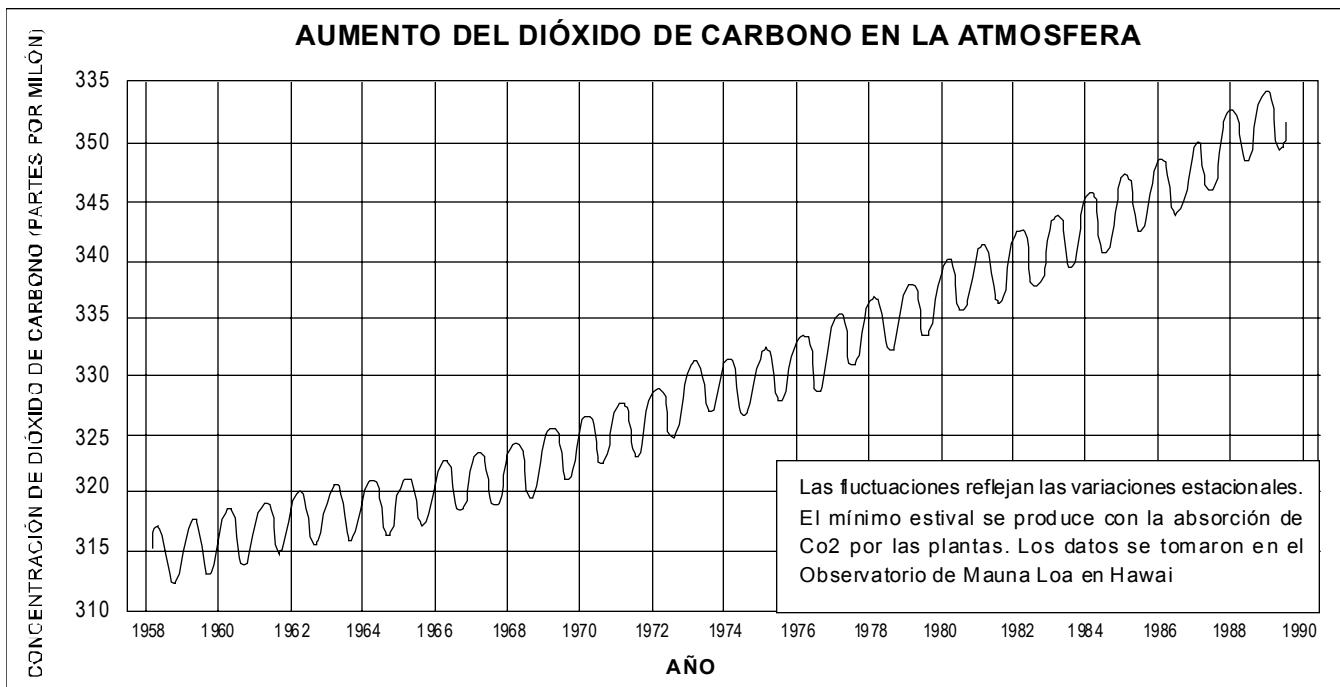


Figura No.16 Aumento del dióxido de carbono en la atmósfera.

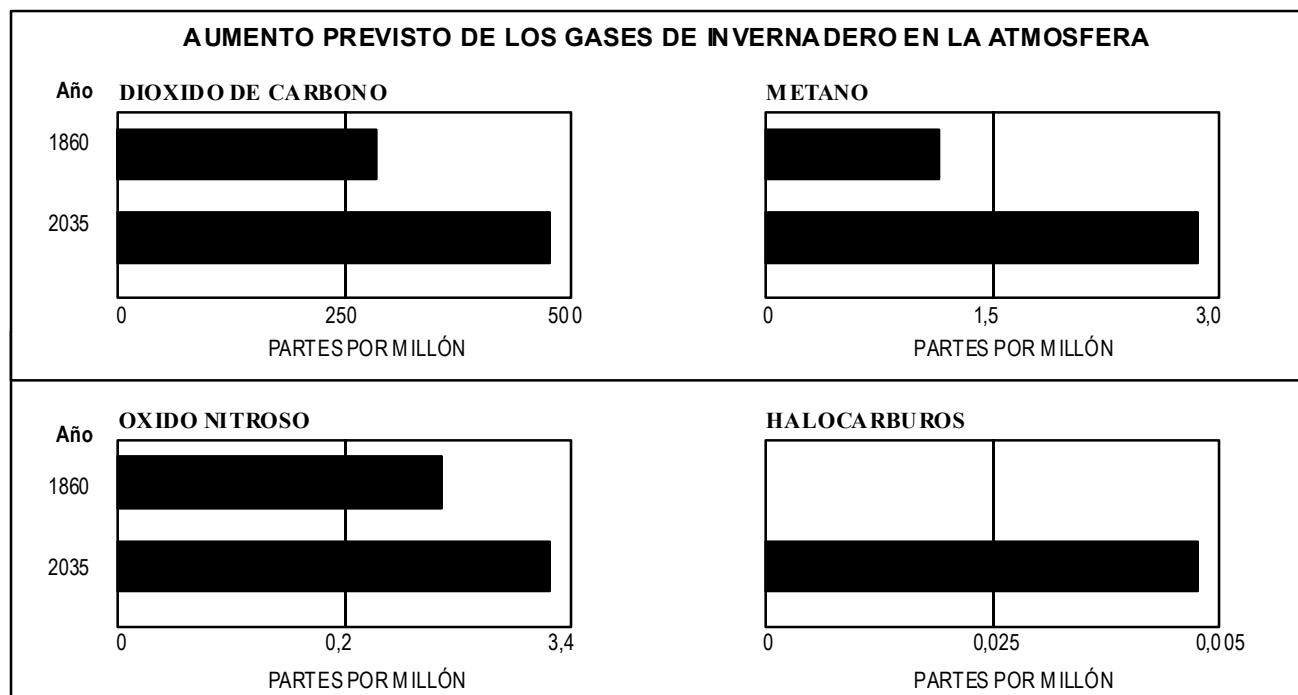


Figura No.17 Aumento previsto de los gases de invernadero en la atmósfera.

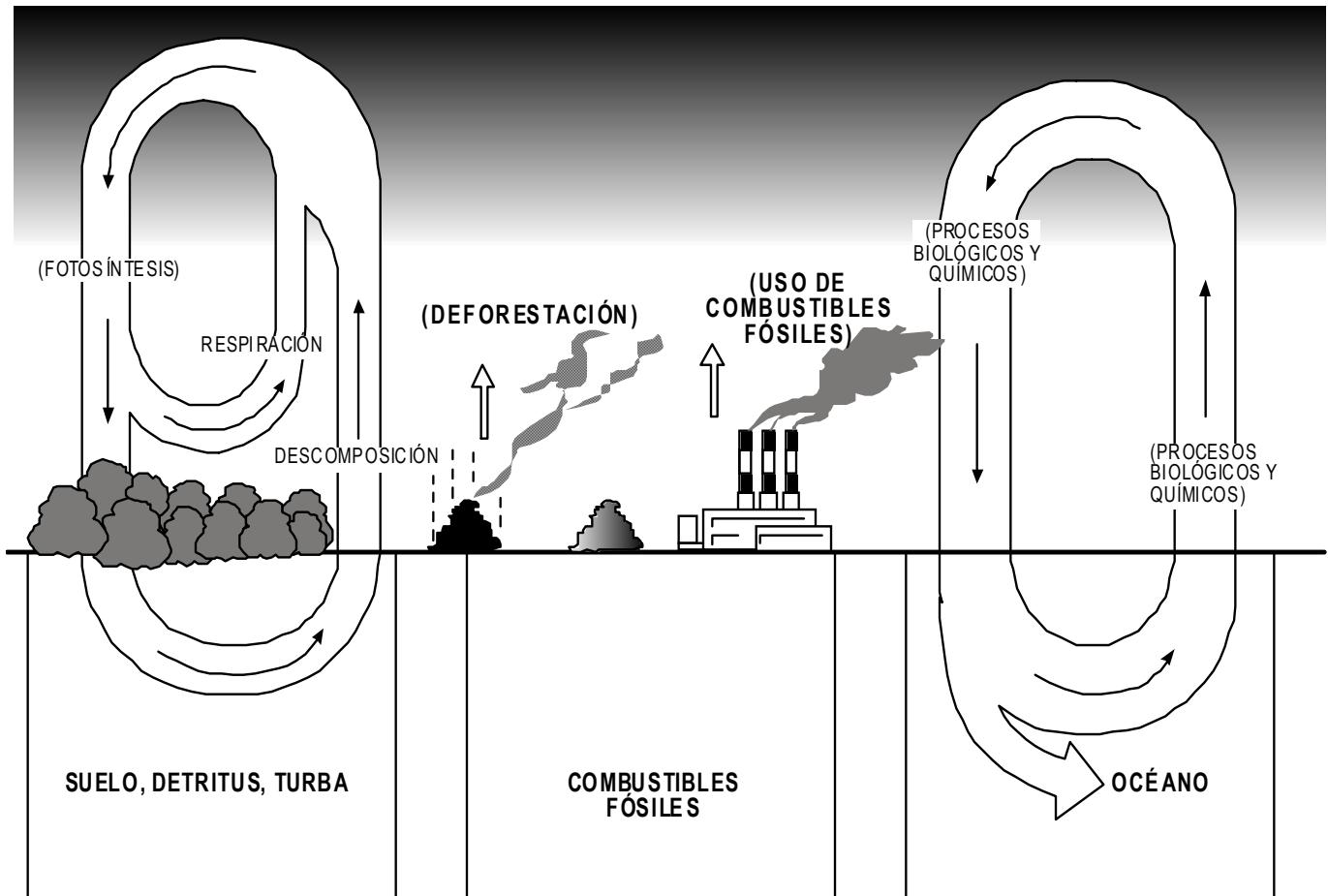
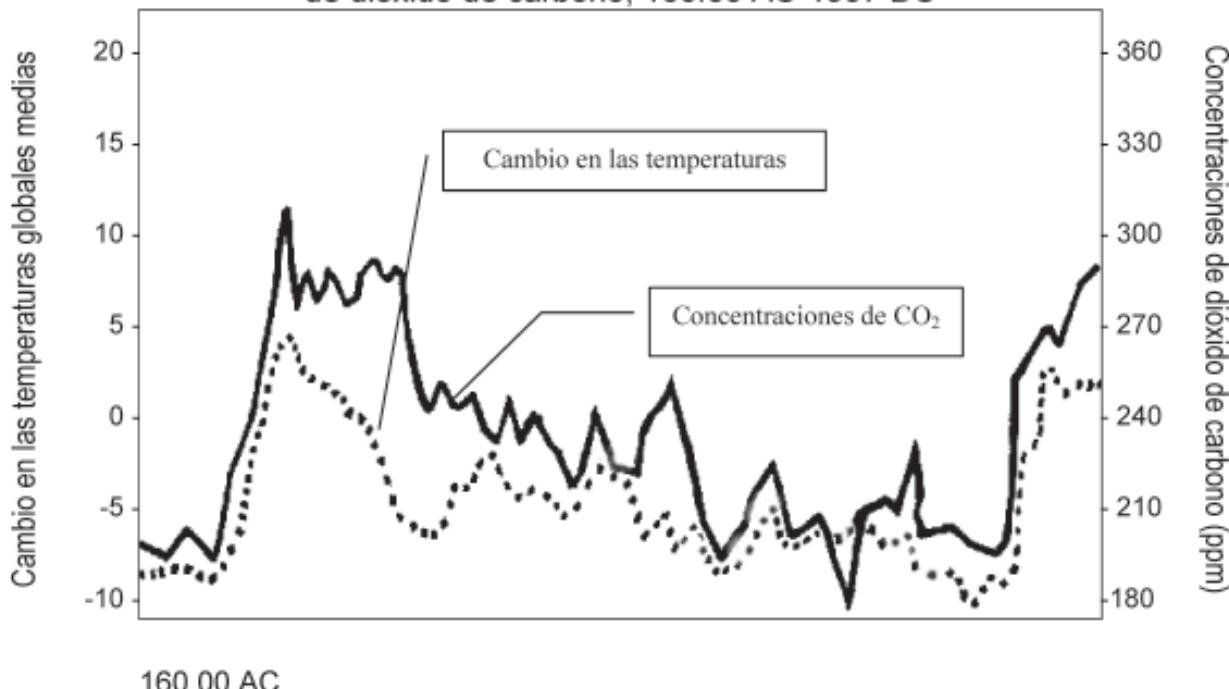


Figura No.18 Intercambio de carbono entre la atmósfera y sus depósitos en la tierra.

### El Invernadero Reforzado

Correlación de las temperaturas globales con los niveles de dióxido de carbono, 160.00 AC-1997 DC



160.00 AC

Históricamente, los niveles de dióxido de carbono se han correspondido con las tendencias de las temperaturas. El dióxido de carbono y otros "gases de invernadero", entre los cuales el más importante es el vapor de agua, atrapan el calor en la atmósfera. Las actividades industriales han contribuido a un aumento en algunos de estos gases, notablemente el dióxido de carbono, el metano, y el óxido nitroso.

Gases de invernadero	incremento desde 1750	contribución al efecto invernadero originado por actividades humanas
(por ciento)		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30	65
Metano (CH <sub>4</sub> )	145	20
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	15	5

El marcado aumento en estos gases, en particular el dióxido de carbono, está reforzando el efecto invernadero natural de la tierra.

Fuentes:

Wordwatch Institute, *Signos Vitales* 1995; IPCC, Climate Change 1995: *The Science of Climate Change*

Cuadro No.3 El invernadero reforzado.

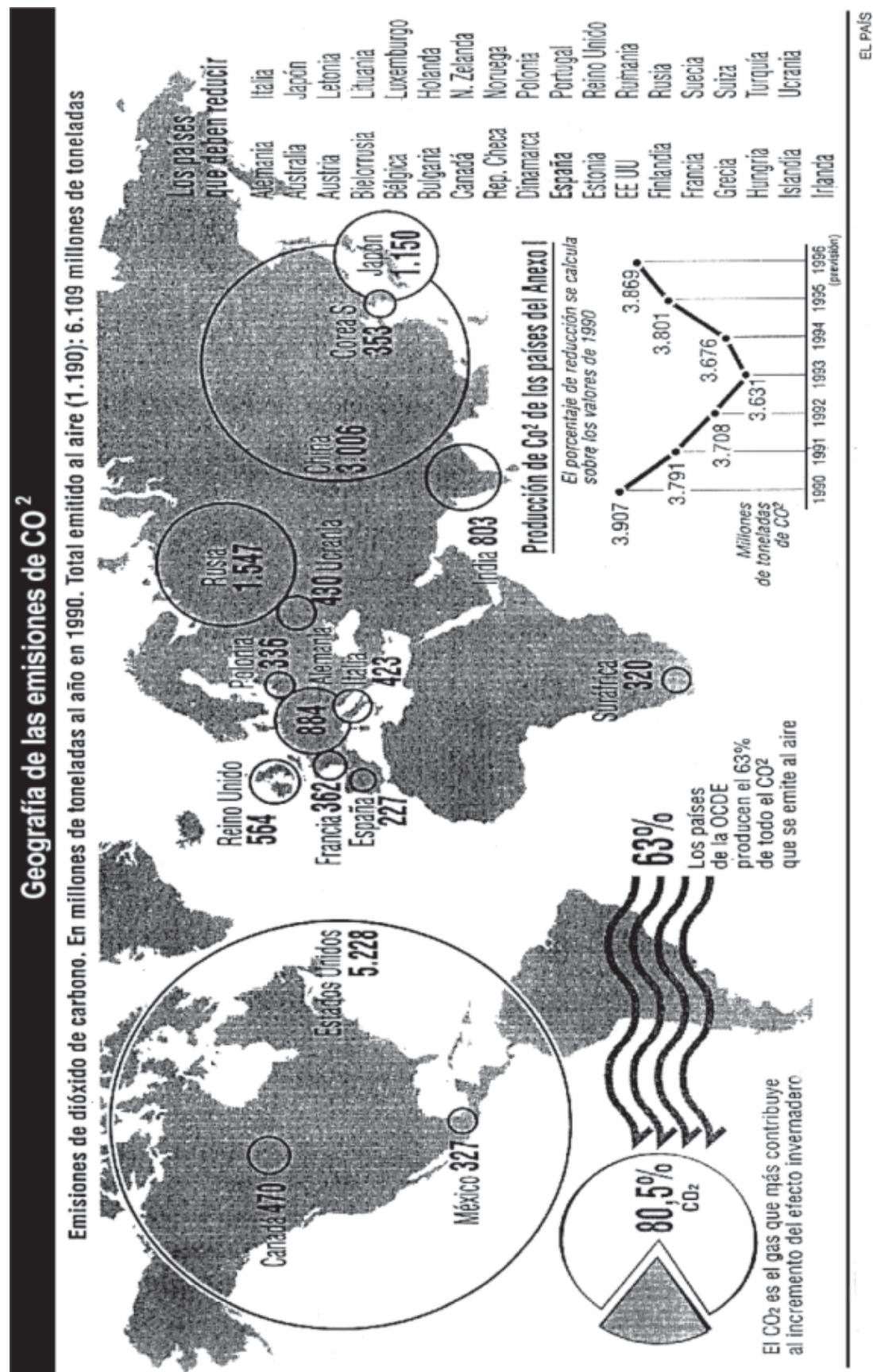


Figura No.19 Geografía de las emisiones de dióxido de carbono.

## **VI-. LA RESPUESTA DE LOS ECOSISTEMAS AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Cabe preguntarse cómo va a afectar todo lo comentado en apartados anteriores a los ecosistemas. Aunque la preocupación más generalizada, y que ha movido a los Jefes de Estado y de Gobierno, así como a las instituciones internacionales, se ha orientado más hacia los asuntos que directamente se refieren al hombre y la sociedad, las repercusiones sobre los ecosistemas no han estado ausentes. Pero las interacciones del clima y procesos ecológicos son complejas y todavía se tienen muchas incertidumbres acerca de las implicaciones potenciales del cambio climático en los mismos. Se ha dicho que los cambios en la flora y la fauna pueden ser afectados por la emisión de gases de efecto invernadero y su absorción; se ha sugerido que el metano en la atmósfera se ha incrementado por el efecto de las zonas húmedas y arroceras y el papel de los océanos en el ciclo global del carbono es un foco de intensa investigación.

Por otra parte, la respuesta local del clima a la deforestación está dominada por el ciclo hidrológico y por un incremento de la temperatura en la superficie. Sin embargo, se necesita saber para los ecosistemas terrestres la distribución, estructura y cantidad de sistemas bióticos del planeta, el modo en que estos sistemas interactúan en el conjunto de la biosfera; el grado en que están cambiando y las consecuencias de estos cambios sobre las condiciones atmosféricas. Igualmente hay que conocer los efectos de las situaciones de tensiones y perturbaciones. El incremento gradual de la tensión (estrés) afecta al funcionamiento del ecosistema. Los acontecimientos extremos (una sequía muy prolongada, por ejemplo) tienen efectos sobre todo demográficos, pero un incremento de la tensión afecta mucho a la respuesta de estos acontecimientos extremos. Otros procesos deben ser considerados a escalas regionales y de paisaje, esencialmente los de dinámica espacial y los efectos de la fragmentación de hábitats.

Por otra parte sabemos que el clima es un factor determinante de la vegetación natural de una región. Su efecto puede ser mucho más importante si el clima está sometido a un cambio rápido - en unas pocas décadas, como lo que está ocurriendo en la actualidad - porque, en esas condiciones, su acción como factor de selección y evolución se multiplica. Veamos:

Un incremento de la temperatura media global de 1°C se considera equivalente a una variación de 100 a 150 Km de latitud. En sólo un siglo podemos esperar probablemente variaciones equivalentes a 400-500 Km. Lo que sabemos de las migraciones de las plantas ante cambios climáticos del pasado indican normalmente velocidades muy inferiores a éstas, del orden de 10-40 Km/siglo. Todavía más lentos son los cambios en las condiciones del suelo. Así pues, las comunidades naturales, alteradas y empobrecidas por cambios en las relaciones de competencia (como resultado de cambios en la frecuencia de aparición de plagas), deberán además migrar a un ritmo casi imposible. Tanto más, cuando hoy aparecen fragmentadas en un medio altamente humanizado, con lo que las migraciones deberán realizarse en un contexto "insular", con mucha mayor dificultad que, por ejemplo, en los períodos de cambio asociados a las glaciaciones, excepto para aquellas especies muy antropófilas que son dispersadas por el hombre.

Aunque es posible formular algunas predicciones sobre los efectos fisiológicos que puede tener un ambiente elevado de CO<sub>2</sub> y altas temperaturas en ciertas especies, se desconoce la influencia sobre poblaciones y comunidades vegetales. No obstante, el considerar cómo se han adaptado las plantas a previas condiciones generales de estrés, puede proporcionar algunas ideas. Así, sabemos que éstas tienen un sistema centralizado de respuesta a los factores del estrés, cuyo principal efecto es disminuir el crecimiento, con objeto de equilibrar la adquisición de los recursos limitantes con los que son más abundantes.

Una cuestión importante es qué especies evolucionarán en respuesta a qué factores de estrés, y a qué rango de estrés puede adaptarse una especie mediante evolución. Las especies de vida corta pueden mostrar una alta tasa de renovación de sus individuos y ajustarse evolutivamente a cambios ambientales globales. Por el contrario, las especies perennes de vida larga -como árboles, arbustos, gramíneas perennes-, que dominan la mayor parte de la vegetación natural del mundo, se renuevan mucho más lentamente. Estas especies encontrarán una dificultad mayor para ajustarse al cambio climático que las especies de vida corta, debido a que el intervalo entre generaciones es más largo y que los cambios ambientales van a ocurrir

durante la vida de un individuo. Al ser por tanto crítica la capacidad de estas especies para responder a los cambios ambientales, las modificaciones tendrán un mayor impacto en el ecosistema y en los procesos globales. Se podría esperar, pues, un cambio en la composición florística de las especies actualmente dominantes en un lugar, mientras que las especies anuales se adaptarían mejor a las nuevas condiciones.

Los efectos a gran escala del aumento del dióxido de carbono en la atmósfera sobre la agricultura de secano, dependiente de las lluvias, son complicados y más difíciles de estimar que los efectos sobre la agricultura de regadío. Sabemos que hay algunas plantas que tienden a cerrar sus estomas, o poros de sus hojas, en un ambiente alto de CO<sub>2</sub>, con la consiguiente reducción en la transpiración del agua. De aquí, que con lluvia escasa o incierta, algunas especies (como por ejemplo el maíz o la caña de azúcar), se vean probablemente menos afectadas por la escasez del agua al aumentar el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Todo ésto pone en cuestión, sin duda, las estrategias que se tienen para la conservación, basadas en la protección de enclaves inconexos. Los efectos del cambio climático sobre estos enclaves serán, previsiblemente catastróficos al haber casi desaparecido las posibilidades de avance y retroceso. Es preciso reivindicar aquí la idea difundida por el ecólogo Margalef hace años, de una red de sistemas más maduros encerrando las zonas más explotadas y humanizadas y volver a defender con mayor intensidad la importancia de estructuras como los corredores de comunicación entre espacios protegidos.

## VII.- CONCIENCIACIÓN MUNDIAL ACERCA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La preocupación por el cambio climático es, para algunos expertos en el tema, una historia de acuerdos e incumplimientos, ya que hace más de un siglo se hablaba de los "gases reguladores" de las temperaturas. Podríamos decir que desde entonces no ha cesado el debate en los círculos científicos. Sin embargo, la preocupación internacional se ha desarrollado en los últimos veinticinco años. No pretendemos hacer aquí un análisis de los acontecimientos históricos, si bien se anotan en el cuadro nº 5 los hechos más significativos que se han venido sucediendo durante este tiempo. Diremos que, a nuestro juicio, la preocupación mundial sobre el cambio climático, se encuentra en las mismas raíces que la concienciación sobre el medio ambiente y que, precisamente, los estudios científicos sobre la contaminación atmosférica han ido parejos a la temática que nos ocupa.

Prácticamente, durante los años setenta y ochenta, la atención mundial respecto a nuestra atmósfera estaba más vinculada a la idea de contaminación que a la posibilidad de un cambio global del clima. La Convención celebrada en Ginebra sobre la "Contaminación Atmosférica y su Flujo Transfronterizo a Larga Distancia", aunque fue prácticamente una respuesta centrada en la "lluvia ácida" (ver figura 15), supuso en 1979 una incidencia indirecta sobre el efecto invernadero al ser aplicables a partir de 1983 los acuerdos acerca de los gases inductores del fenómeno. Podríamos citar al respecto los cuatro protocolos adoptados en la citada Convención relacionados con la toma de medidas para controlar las emisiones de óxidos de nitrógeno, la reducción de emisiones de sulfuros, así como el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y de sus respectivos flujos fronterizos.

**CRONOLOGÍA DE LOS PRINCIPALES EVENTOS CON RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

- 1972 - Estocolmo (Suecia). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano. Se recomienda a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que, en cooperación con el Consejo Internacional de Uniones Científicas - de carácter no gubernamental- se emprendiesen actividades dirigidas a comprender las causas (de origen natural y antrópico) determinantes de un posible cambio climático.
- 1974 - 1<sup>a</sup> advertencia respecto a la acción de los CFC en la atmósfera.
- 1976 - Se hace pública una Declaración sobre el Cambio Climático insistiendo en la necesidad de perfeccionar la capacidad de predicciones climáticas y en la trascendencia de las actividades humanas sobre el clima.
- 1979 - Ginebra (Suiza). 1<sup>a</sup> Conferencia Mundial sobre el Clima -de carácter científico-. Se llama la atención sobre el importante papel del CO<sub>2</sub> en el calentamiento global.
- 1984 - Informe a nivel mundial sobre el " agujero del ozono".
- 1985 - Villach (Austria). Conferencia Científica para evaluar el impacto del incremento de la concentración atmosférica de los "gases de efecto invernadero" en el clima y sus efectos sobre el calentamiento del planeta.
- 1988 - Se crea el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- 1990 - Ginebra (Suiza). 2<sup>a</sup> Conferencia Mundial sobre el Clima y I Informe del IPCC.
- 1992 - Río de Janeiro (Brasil). Tratado sobre Cambios Climáticos, firmado en la Cumbre de la Tierra (Conferencia Intergubernamental). Preveía que se tomaran medidas para estabilizar en el año 2000 las emisiones de "gases de efecto invernadero" en los niveles que tenían en 1990.
- 1994 - Maastricht (Holanda). Informe del IPCC que servirá como Documento de Debate en Berlín.
- 1995 - Berlín (Alemania)- II Informe del IPCC.
- 1997 - Kioto (Japón)- Se aprueba el Protocolo de acuerdo para reducir emisiones en la atmósfera. 167 países se reunieron y el Acuerdo obliga a los 38 más desarrollados a reducir una media de 5.2 % de los gases que afectan al efecto invernadero entre el 2008 y el 2012.
- 1998 - Buenos Aires (Argentina) - Cumbre del Clima del 2 al 13 de noviembre.

Cuadro No.4 Cronología de los principales eventos en relación al cambio climático.

La toma de conciencia puesta respecto al Cambio Climático en el ámbito mundial, es de nuestra década próxima. En 1990 se reunieron en Ginebra 700 especialistas del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, que habían investigado a instancias de la OMM y la ONU. Lo más importante de esa reunión pudo ser el consenso científico sobre el Cambio Climático, señalándose que, de mantenerse el ritmo actual de emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento estimado de la temperatura media de la atmósfera baja terrestre, oscilaría entre los 2° y 4° C antes del próximo siglo. Las principales conclusiones fueron así sistematizadas:

- En el aspecto global, el nivel del océano subirá 20 centímetros hacia el año 2030, aunque no de forma uniforme debido a la expansión térmica de los mares y el derretimiento de los hielos. Esto significa que extensos territorios costeros del planeta, algunos densamente poblados, desaparecerían sobre las aguas (Bangladesh, varias islas de la Polinesia, deltas fluviales como el del Nilo y enormes franjas costeras en los cinco continentes serían invadidas por el mar).
- El Informe anunció cambios rápidos en los ecosistemas y, advirtió que si bien algunas especies se beneficiarían, otras serían incapaces de emigrar o adaptarse suficientemente rápido y se extinguirían.
- La localización, frecuencia e intensidad de huracanes, tifones, sequías, inundaciones y toda una serie de desastres naturales podrán cambiar al variar la dinámica atmosférica.

El segundo hecho importante en esta década y con relación al tema que nos ocupa, fue la reunión de los representantes de los gobiernos de los países signatarios del Convenio Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) que asistieron desde el 28 de marzo al 7 de abril a la Conferencia de las partes de dicho Convenio en Berlín (1995). El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), en favor de la naturaleza amenazada por el cambio climático llamó la atención pública sobre la necesidad de una disminución urgente y drástica de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y otros gases invernadero para paliar (que no evitar) los tremendos efectos destructivos del cambio climático sobre la diversidad biológica del planeta.

Tras la clausura de esta Conferencia, (ver los principales puntos del documento científico del IPCC en el cuadro nº 6), los portavoces del WWF la calificaron de pérdida de una oportunidad histórica. La reunión se cerró con una vaga declaración genérica de intenciones de reducción, en la que se evitó cuidadosamente toda referencia a objetivos y calendarios de

la misma. Probablemente el único aspecto positivo de tal evento, fue el cambio radical de los discursos de los ministros representantes de países importantes (como por ejemplo, EE.UU. o Inglaterra), ya que hasta esa fecha la posición oficial de sus gobiernos era el poner en duda la realidad del fenómeno del cambio climático, aprovechándose de las incertidumbres científicas que existen al respecto. En Berlín, estos ministros, dieron por sentado en sus respectivos discursos que el cambio climático es una realidad y que no es un problema para un futuro lejano, sino que va a constituir un fenómeno decisivo en el transcurso de nuestras vidas.

### **PRINCIPALES PUNTOS DEL DOCUMENTO CIENTÍTICO DEL IPCC Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (1995)**

- Ha aumentado mucho el conocimiento de los mecanismos de un posible cambio climático.
- El balance de las pruebas sugiere que existe una influencia humana apreciable sobre el clima global.
- Se mantiene un cierto grado de incertidumbre, especialmente a escala regional y local.
- La temperatura media global ha aumentado entre 0,3 y 0,6 grados centígrados desde 1990.
- Los últimos años han sido los más calientes desde 1860.
- El nivel del mar ha subido entre 10 y 25 centímetros desde 1990.
- La temperatura media global subirá entre 1 y 3,5 grados en 100 años respecto de 1990.
- El nivel del mar subirá entre 15 centímetros y 95 centímetros en 100 años respecto a 1990.

### **IMPACTOS DEL CALENTAMIENTO TERRESTRE**

- Subida del nivel del mar.
- Aumento de las temperaturas sobre todo en latitudes altas del hemisferio norte, sobre los continentes.
- Cambios en el régimen de precipitaciones: inundaciones o sequías según las zonas.
- Deterioro de las zonas boscosas que no podrán migrar lo suficientemente deprisa a sus nuevas regiones climáticas.
- Avance del desierto desde las zonas subtropicales.
- Habrá más días calurosos y menos días muy fríos.

Cuadro No.5 Principales puntos del documento Científico del IPCC, 1995.

El protocolo de Kioto estableció un compromiso jurídicamente vinculante por el que los países industrializados debían reducir las emisiones a la atmósfera de seis gases de efecto invernadero, en un 5.2% en el periodo del 2008-2012 respecto al nivel de 1990. El objetivo de la reciente Cumbre de Buenos Aires (IV Conferencia de las Partes del Convenio Marco de

Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), era establecer las normas para cumplir dicho Protocolo por parte de los Gobiernos de los 180 países representados, pero no han conseguido un acuerdo firme al respecto. El principal problema puede haber sido la exigencia, planteada sobre todo por Estados Unidos de que los países en desarrollo asuman en esta cuestión compromisos de reducción de emisiones, cuestión a la que éstos se han negado. Esta temática entra pues de lleno en la incidencia que tiene el cambio climático en el desarrollo de los pueblos, que trataremos a continuación, si bien resumimos ahora las señales actuales que permiten afirmar que nos encontramos ante un posible cambio climático:

- Deshielo de los casquetes polares y glaciares en retirada (tanto en Los Alpes como en la Cordillera de los Andes).
- Enfermedades en las personas relacionadas con el calentamiento global (Por ejemplo, el aumento de plagas de mosquitos-vectores que llevan la malaria, el dengue o la fiebre amarilla a muchas zonas de América Latina).
- Blanqueamiento de corales, disminuyendo su crecimiento y amenazando hábitats críticos para muchas especies de peces y otras formas de vida marinas.
- Marcado cambio en las estaciones del año; así por ejemplo éstas han comenzado a cambiar en las latitudes nórdicas: la primavera comienza antes y el otoño se retrasa.



Figura No.20 Actividades humanas que pueden producir calentamiento global.

Se espera que el cambio global del clima afecte a los patrones de temperaturas y precipitación, circulación oceánica y atmosférica, a una creciente subida del nivel del mar, y a la frecuencia, intensidad, ritmo y distribución de huracanes y tormentas tropicales. La magnitud de estos cambios y sus consecuentes impactos sobre las zonas húmedas costeras, se dejarán sentir especialmente a nivel regional.

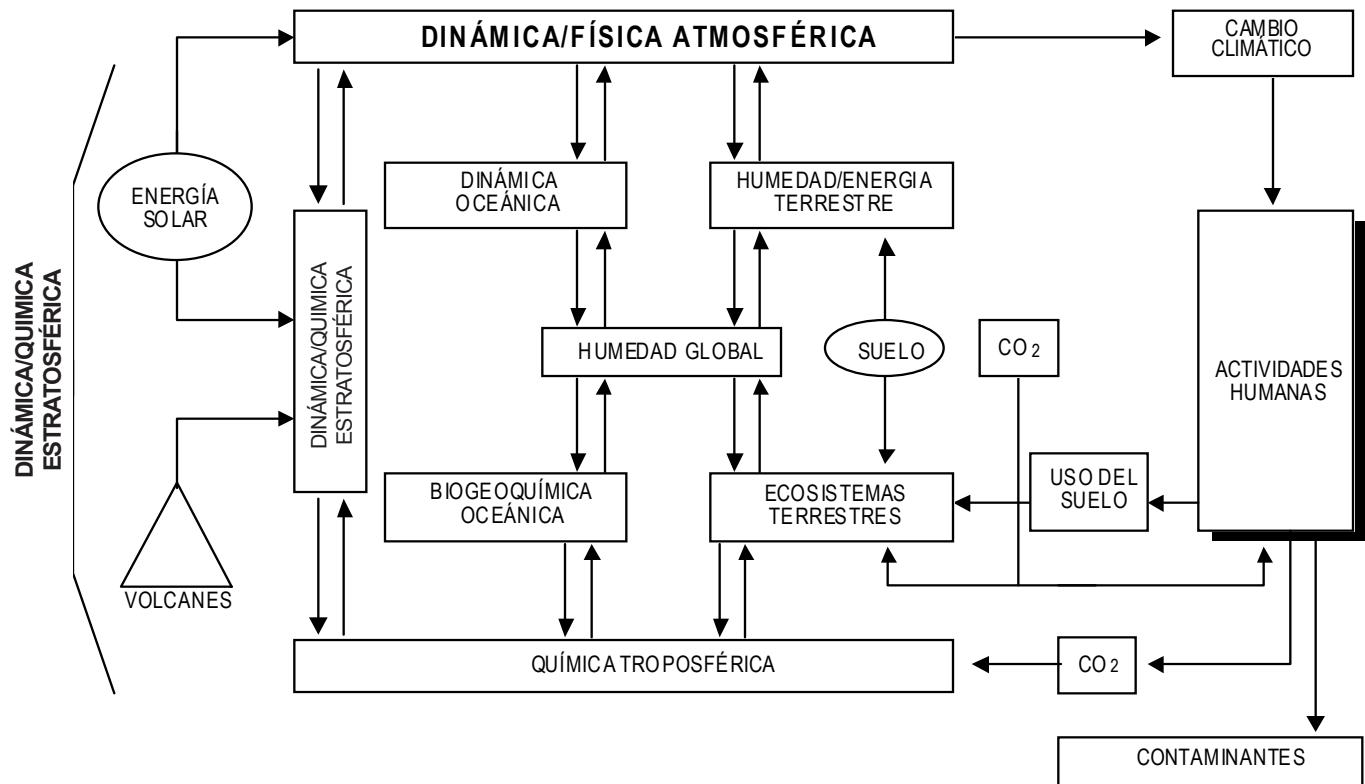


Figura No.21 Modelo integrado del cambio climático global.

Se espera que el cambio global del clima afecte a los patrones de temperaturas y precipitación, circulación oceánica y atmosférica, a una creciente subida del nivel del mar, y a la frecuencia, intensidad, ritmo y distribución de huracanes y tormentas tropicales. La magnitud de estos cambios y sus consecuentes impactos sobre las zonas húmedas costeras, se dejarán sentir especialmente a nivel regional.

## VIII.- CAMBIO CLIMÁTICO Y CAMBIO GLOBAL

El planeta Tierra fue estudiado durante muchos años por distintas disciplinas en forma independiente, tales como la Geología, Meteorología, Oceanografía, etc., pero desde la segunda mitad de nuestro siglo, se acepta que la atmósfera, los océanos, las regiones cubiertas por hielo y la biota terrestre y marina, están estrechamente ligadas a la composición del tiempo meteorológico y el clima, constituyendo un sistema integrado de alcance global y extraordinaria complejidad (ver figura 25). Al principio, el conocimiento científico se concentró en el estudio de cada componente, y en la actualidad se procura conocer las interacciones básicas que enlazan la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, la litosfera, con el fin de obtener un mejor conocimiento de las causas importantes de los cambios que se experimentan en nuestro planeta o pueden esperarse.

También, hace pocas décadas se interpretaba que los cambios de trascendencia que afectan al medio ambiente en el curso de la vida en la Tierra, eran de origen natural, inducidos por fuerzas tales como la selección natural de las especies, las variaciones de la circulación atmosférica, la dinámica turbulenta de la atmósfera y de los océanos, la deriva de los continentes, la elevación de las cadenas montañosas y la contracción de las capas de hielo. Hoy, se han añadido a esas fuerzas naturales otro conjunto de factores de cambio, cuya acción es mucho más reciente, pero con consecuencias inmediatas muy cercanas: la acción humana. Aún con muchas incertidumbres en nuestro conocimiento, se tiene un claro convencimiento de que la acción humana, por lo menos en algunos casos, ha alcanzado el nivel de los cambios naturales y es capaz de afectar a todo el planeta. Estas actividades antropogénicas tienen efectos importantes, acumulativos y acelerantes que, unidos a los cambios naturales, interactúan -en formas que no son del todo conocidas- sobre el Sistema Tierra (incluyendo los procesos físicos, químicos y biológicos) que sostienen la vida.

Durante la década de los setenta, el término "Cambio Global" fue adoptado por la comunidad científica para referirse a los cambios en los sistemas internacionales, sociales, económicos y políticos, particularmente en lo que concierne a la seguridad internacional y relaciones en la calidad de vida. Por lo tanto, el primer uso del término fue esencialmente antropogénico. En la década de los ochenta, los científicos adoptaron un uso geocéntrico para referirse al "Cambio Global Ambiental" en el sistema Tierra. Este punto de vista del cambio parecía involucrar dos conceptos separados pero relacionados:

- a) **cambios sistémicos:** aquellos que ocurren en la total extensión de un comportamiento global del Sistema Tierra. Entre los ejemplos más citados estarían el aumento del CO<sub>2</sub>, el calentamiento global medio del nivel del mar y la disminución del ozono estratosférico.
- b) **cambios acumulativos:** son los que ocurren en ubicaciones discretas del globo terráqueo pero que, cuando se combinan adquieren una importancia global. Los más conocidos son la lluvia ácida, deforestación, desertificación y otros procesos que producen cambios en la biosfera y que alteran el ciclo del carbono y la capacidad de almacenar CO<sub>2</sub>.

Pero el cambio global no es sólo climático, sino que hay que atender a sus dimensiones ecológica, social y ética. El Dr. Di Castri ha comentado recientemente que el cambio ha comenzado hace tiempo y que se debe mucho más a la actividad socioeconómica que modifica el paisaje, que al clima: "con los ritmos actuales de cambio es imposible adivinar cómo será el mundo dentro de cincuenta años, pero mucho de lo que tenemos habrá desaparecido antes de que el cambio climático tenga ocasión de producir efectos importantes. Es el caso de muchos países tropicales, cuyas selvas desaparecen a ritmos vertiginosos".

El cambio global debe entenderse pues en todas sus manifestaciones: aumento de la desertificación, degradación de los bosques templados y tropicales, variaciones en los niveles freáticos, retrocesos de glaciares, alteración de la composición de la atmósfera, acidificación de suelos y lagos, pérdida de diversidad genética, entre otros. Muchos de estos cambios están interrelacionados. Los cambios se están produciendo y seguirán, pero más deprisa en unas regiones que en otras.

## *8.1 Cambio global y ecosistemas terrestres*

El programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP), tiene por objeto describir la interacción de los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan el Sistema Tierra -el único medio ambiente para la vida- los cambios que ocurren en dichos sistemas y cómo influyen en el mismo las acciones humanas. Conocemos el hecho de que los ecosistemas terrestres están sujetos a cambios en el uso del suelo, composición atmosférica y clima. La capacidad de las sociedades humanas para mejorar, adaptar y beneficiarse de los rápidos cambios. Requiere conocimientos fundamentales de las respuestas de los ecosistemas a las fuerzas del cambio global. Se hace pues necesario poder conseguir los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Predecir los efectos de los cambios en el clima, composición atmosférica, composición y usos del suelo en ecosistemas terrestres incluyendo agricultura, bosques y la complejidad ecológica.
- ✓ Determinar los efectos para la retroalimentación en la atmósfera y el sistema físico del clima.

Este Programa de Investigación se organiza en 4 temas: (1) Fisiología del ecosistema, (2) Cambio en la estructura del ecosistema, (3) Impacto del cambio global en agricultura, bosques y suelos y (4) Cambio global y complejidad ecológica. El estado de las cuestiones emergentes y retos que podríamos encuadrar hasta la fecha serían las siguientes:

***La integración de la Ciencias Sociales y Naturales*** ¿Cómo puede estrecharse la colaboración de las ciencias naturales y sociales para mejorar la comprensión de los complejos lazos impacto-retroalimentación que implican sistemas socio-económicos y políticos e instituciones y el ambiente natural?. En el futuro inmediato, la colaboración estrecha es necesaria para mejorar nuestra capacidad para asumir análisis integrados de los impactos del cambio global.

***Desarrollo Sostenible y Cambio Global.*** El desarrollo sostenible y el cambio global están estrechamente relacionados. El aumento continuo de gases generados por la acción antrópica en la atmósfera y la pérdida rápida de biodiversidad, sugiere que las tasas pasadas y presentes de desarrollo no son sostenibles en su sentido biofísico. Estos cambios ambientales globales están produciendo ahora restricciones biofísicas sobre las estrategias del desarrollo sostenible para el futuro. ¿Cómo pueden integrarse de forma más eficaz estos esfuerzos estrechamente relacionados de aplicaciones de la investigación para dar resultados más útiles en la política y manejo de los recursos?

**Tasas de Cambio.** El ambiente terrestre está constantemente cambiando, pero si el cambio global es conducido por la acción antrópica, puede ser mucho más rápido que el natural. El cambio así causa serios problemas a los ecosistemas terrestres para adaptarse sin la intervención humana. ¿Cuáles son las tasas seguras de cambio global que pueden evitar desorganizaciones peligrosas de los procesos ecológicos naturales y de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y qué necesita hacerse para ralentizar el cambio global hasta esos valores?

**Efectos interactivos de los "conductores" del cambio global.** Los componentes del cambio global no son independientes pero interactúan fuertemente. ¿Cómo podremos nosotros diseñar metodologías más apropiadas para estudiar esas interacciones de los ecosistemas terrestres con combinaciones de los conductores del cambio global, como opuesta a la cadena de razonamiento lineal impacto-respuesta-conductor?

**Escenarios Climáticos.** Aunque se ha hecho un gran progreso en nuestra habilidad para modelizar procesos climáticos, la capacidad presente todavía es limitada para lo que se necesita en orden a estudiar impactos sobre los sistemas ecológicos. ¿Puede la capacidad de predicción climática ser mejorada para producir escenarios reales a escala regional de la naturaleza y frecuencia de los eventos extremos?

**La interacción entre Fisiología y Estructura.** El fracaso en incluir los efectos interactivos de la fisiología de los ecosistemas y de la estructura de los mismos, continúa confundiendo mucha de la investigación sobre el cambio global. ¿Cómo pueden ser mejor integrados estos dos hilos conductores para alcanzar una perspectiva de las interacciones del cambio global del ecosistema en su conjunto, sobre múltiples espacios y escalas de tiempo?

**Procesos Paisajísticos.** Mucho de la "acción" en términos de dinámica de la perturbación o impactos humanos directos sobre los ecosistemas terrestres suceden a escala de paisaje. ¿Cómo puede mejorarse nuestra comprensión de estos fenómenos para ayudar a los que manejan los recursos, para vivir con el cambio global y para facilitar el equilibrio entre un pedazo de tierra y el globo terráqueo?

**Complejidad ecológica y "Resiliencia"** (ver glosario). ¿Cómo podemos ganar una mejor comprensión de las relaciones entre complejidad ecológica (incluyendo la diversidad biológica) y la "resiliencia" del ecosistema con las formas en las que el cambio global afectará a estas relaciones?

## 8.2 Percepción y valoración humana del cambio global

Las causas profundas del cambio global se señalan en la figura 22: el creciente aumento de la población humana, la gestión no adecuada de los recursos naturales y una tecnología nada o poco respetuosa muchas veces con el medio ambiente, estarían en la base de esta cuestión que suele dominar muchas esferas intelectuales. Sin embargo, depende del grado de percepción y valoración que toda la gente tenga respecto al cambio global, y no sólo de las estructuras sociales que nos gobiernan. De todas formas, el flujo de información al respecto de este tema se muestra en la figura 23. Con todo, es fácil reconocer que no siempre nos llega una información adecuada como para que nos mueva a una acción conjunta; por ello juzgamos de especial interés el esquema de la figura 24 y, sobre todo, porque está sumamente relacionado con la acción educativa.

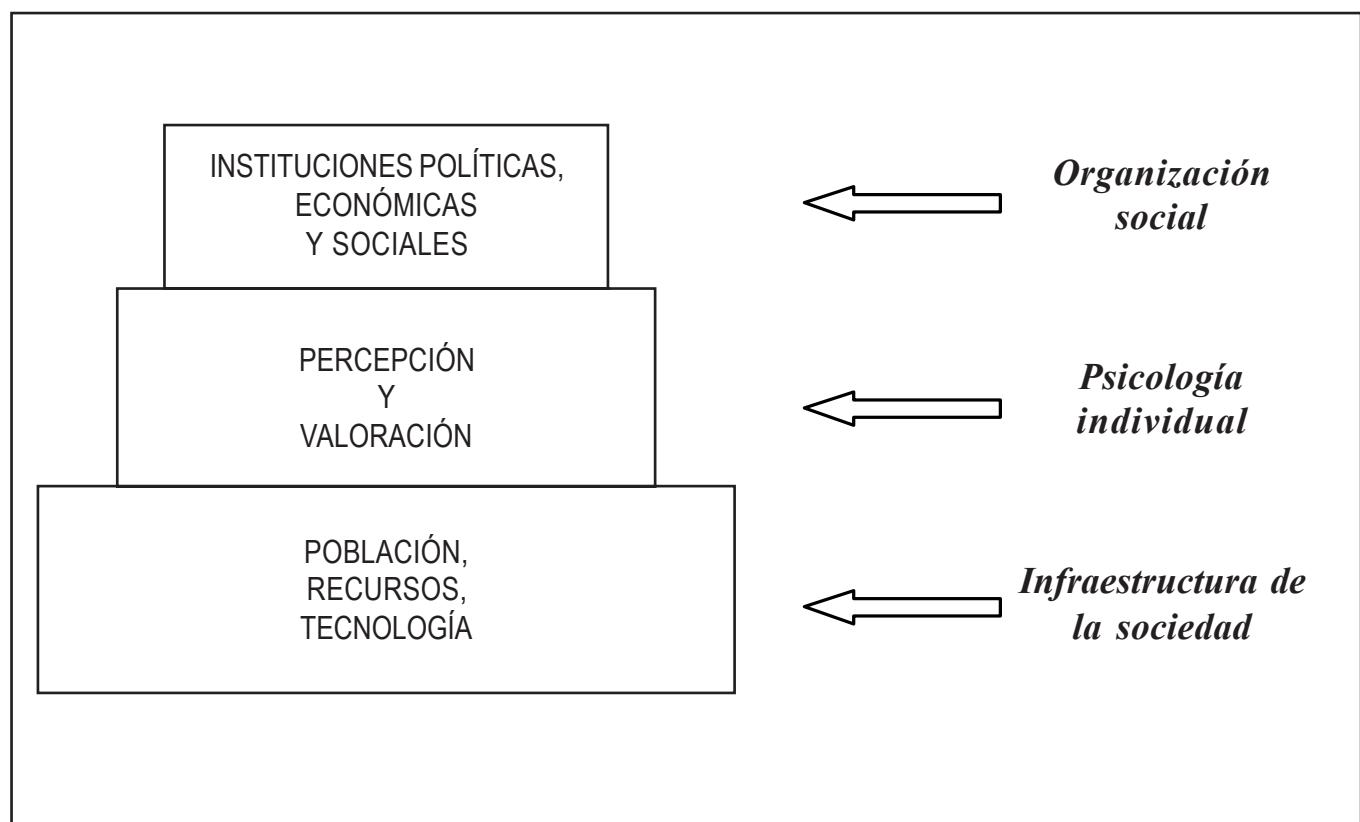
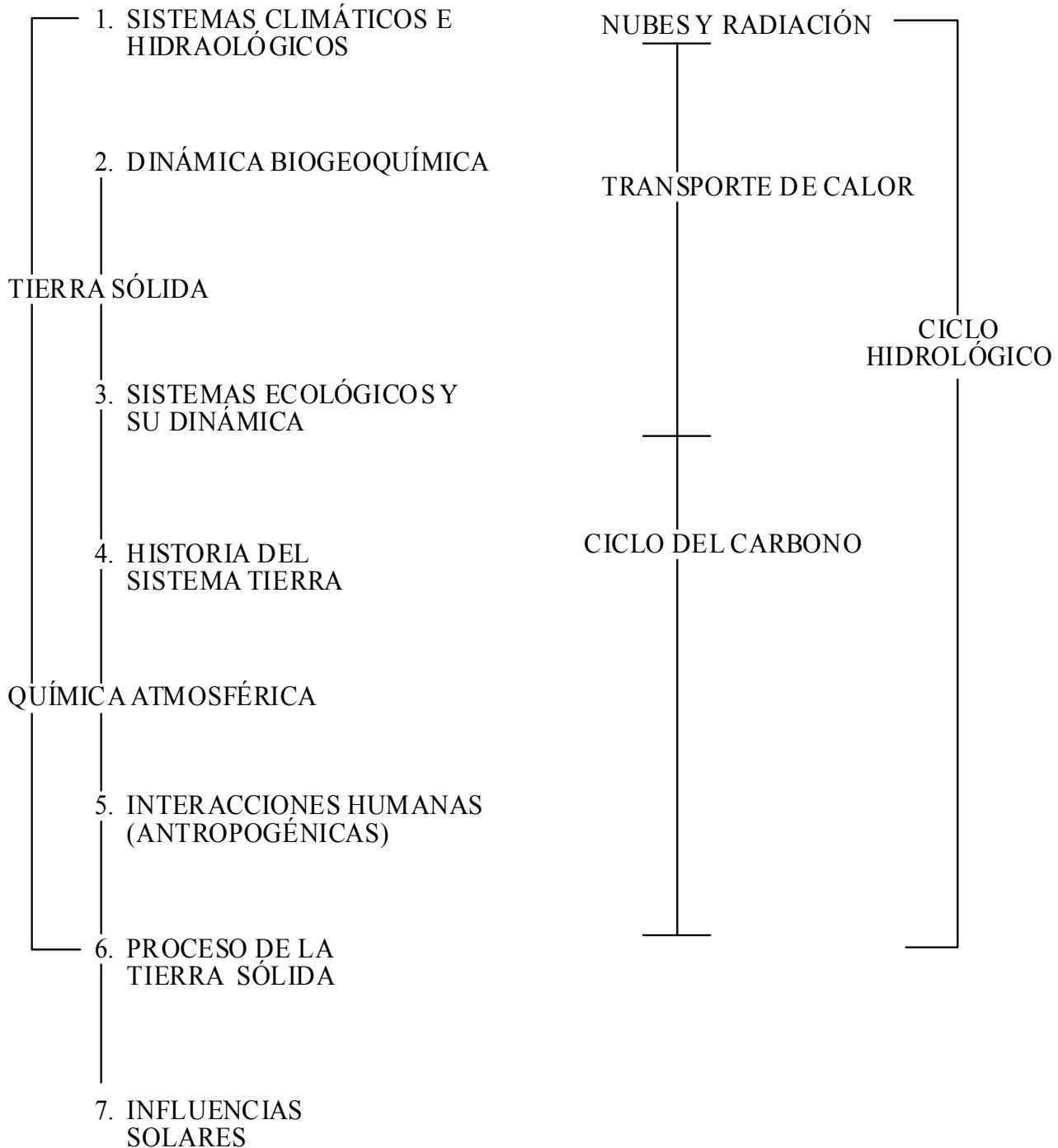


Figura No.22 Las causas profundas del cambio global.

**PRIORIDADES PARA LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Cuadro No.6

## **IX.- CAMBIO CLIMÁTICO, HURACANES, TORMENTAS TROPICALES Y CRECIENTE SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR EN LAS ZONAS HÚMEDAS COSTERAS**

El incremento de los niveles de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero es como hemos visto, bien conocido y se espera que afecte a numerosos procesos oceánicos y atmosféricos que directa o indirectamente afectarán a las zonas húmedas costeras. Durante el medio siglo próximo la temperatura global media se piensa que subirá de 2 a 5°C, el nivel del mar subirá 80 cm o más, la precipitación global y la evapotranspiración incrementarán del 7 al 15% respectivamente, la arroyada también crecerá y la humedad media del suelo en verano decrecerá globalmente. Aunque permanece un número considerable de incertidumbres científicas, los escenarios comunes de calentamiento pueden tener como resultado cambios en la fluctuación geográfica, frecuencia, regulación e intensidad de la estación de los huracanes. Estas alteraciones, que resultan del clima y el nivel del mar, sin embargo se esperan que varíen de manera significativa en dirección y magnitud a escala regional y con el inconveniente de que el nivel de confianza para las proyecciones de índole regional es mucho más bajo que para las proyecciones globales.

Los cambios acumulativos en temperatura y precipitación, el nivel del mar y frecuencia de las tormentas, intensidad, regulación y distribución de las mismas, tendrán tanto efectos directos como indirectos en las zonas húmedas costeras y del interior. Los efectos directos, por ejemplo, pueden incluir las respuestas de los ecosistemas y poblaciones a corto plazo a los excesos de precipitación, encharcamiento y vientos fuertes (como por ejemplo mortalidad, ritmos nutricionales); mientras que los efectos indirectos pueden incluir respuestas retardadas a largo plazo, tanto de poblaciones como de ecosistemas (estrés salino, modificación de los hábitats y otros factores secundarios).

Existen investigaciones detalladas sobre el impacto de los huracanes caribeños recientes y de las tormentas tropicales sobre las zonas húmedas costeras, que han producido ideas importantes sobre las repercusiones ecológicas de las perturbaciones naturales en estos sistemas. A continuación veamos los cambios previstos.

### *9.1 Una introducción apoyada en la realidad*

El huracán Georges a su paso por la República Dominicana en septiembre de 1998, tuvo algunos de los efectos que todavía hoy, después de transcurridos seis meses, pueden ser constatados en las fotografías que se muestran a continuación. En primer lugar, el aspecto que ofrece la Avenida de las Américas en Santo Domingo, donde se ha perdido gran densidad de palmeras (fotos No.1, 2, 3 y 4) por la acción de los fuertes vientos y los puentes destruidos por las crecidas de las aguas: sobre el río Yabón, de Sabana de la Mar hacia Los Haitises (fotos 5 y 6), sobre el río Hato Mayor en la carretera que va de San Pedro de Macorís a Hato Mayor (No.7) y sobre el río Yaque del Sur, en la carretera de Azua a San Juan de la Maguana (No.8). Los elementos arrastrados y entremezclados con los lodos pueden observarse en las márgenes de los ríos, como en la foto No.9, correspondiente al río Yabón y la No.10 al Yaque del Sur, o en las playas y marismas de Boca de Nigua (No.11). El aspecto que ofrece hoy esta última playa citada y la de Sabana de la Mar se muestra en las fotos No.13 y 12 respectivamente. Muchos barrios de pescadores lógicamente fueron también afectados, como todavía se observa en las zonas anegadas de agua en el Este del país dominicano (fotos 17, 15, 16 y 17).

Sin lugar a dudas, los daños irreparables de las vidas humanas a causa del huracán Georges siguen estando en la retina del pueblo dominicano y en cuantos hemos podido contemplar el estado de algunos de los barrios más afectados por este huracán, como es el caso del Mesopotamia en San Juan de la Maguana (fotos 18, 19, 20 y 21). Otras cosas pueden ser reparadas, si bien es necesaria no sólo la colaboración del gobierno (ver foto No.22), o de las empresas hoteleras, como por ejemplo lo observado por nosotros en el hotel Melía de Juan Dolio, en donde los troncos arrancados por el huracán han pasado a ser elementos decorativos como el mostrado en la foto No.23, sino sobre todo por la educación básica de un pueblo que está amenazado por este tipo de desastres (en la foto No.24 se muestra una escena de dos niñas jugando en la que fuera su escuela en Sabana de la Mar).

Aspecto que ofrece la avenida de Las Américas en Santo Domingo, a lo seis meses después de haber sido afectada por el huracán Georges.



Foto No.1 Avenida de Las Américas



Foto No.2 Avenida de Las Américas

La avenida de Las Américas ha perdido gran densidad de palmeras por la acción de los fuertes vientos.

Foto No.3 Avenida de Las Américas

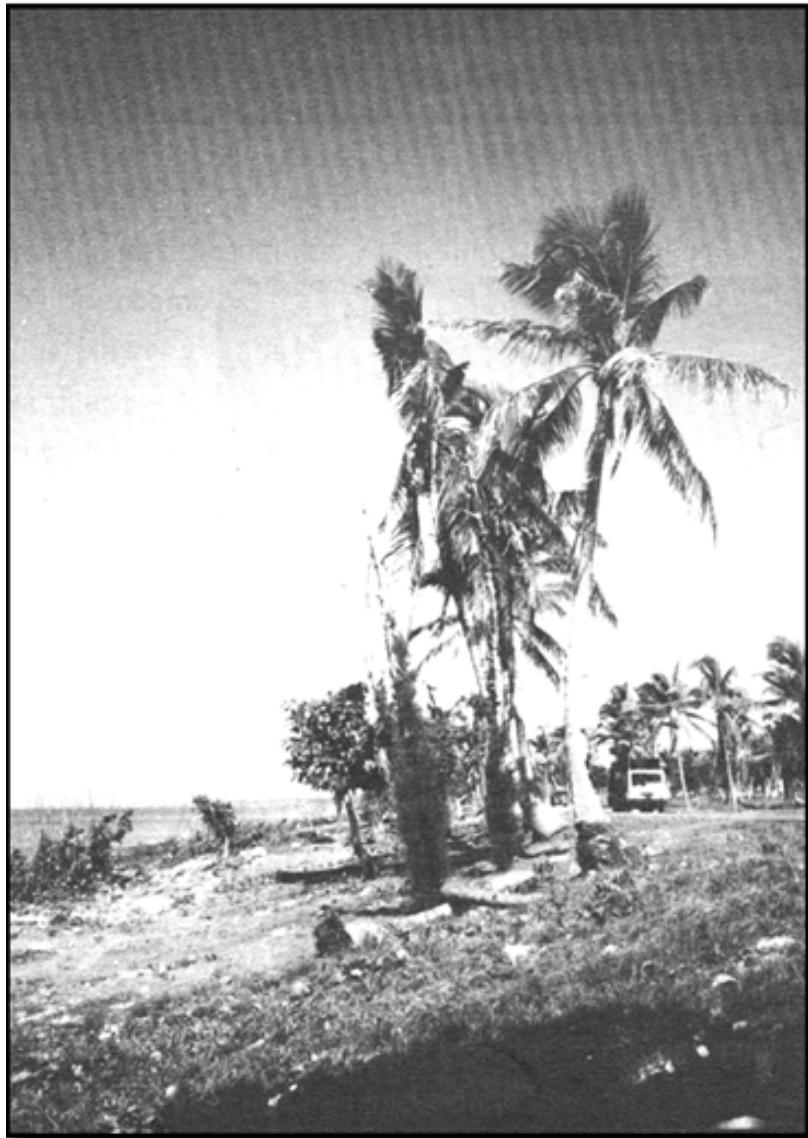


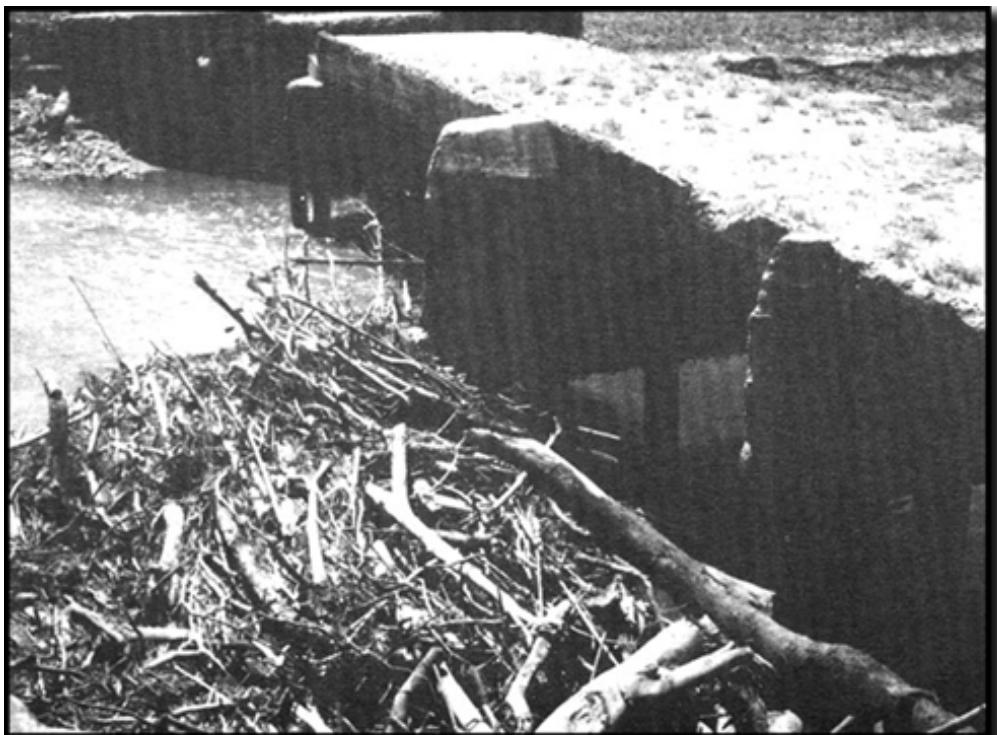
Foto No.4 Avenida de Las Américas

Foto No.5 Río Yabón después del huracán. Tomada desde los Haitises.



**Puentes destruidos  
por las crecidas de las  
aguas**

Foto No.6 Sobre el Río  
Yabó, destruido por  
Georges.



Puentes destruidos por el huracán Georges en República Dominicana



Foto No.7 Puente dañado. San Pedro de Macorís.

Foto No.8 Nueva carretera y puente Azua-San Juan





Foto No.9 Espesor de sedimentos en Río Yabón. Sabana de la Mar.

Vista de los elementos arrastrados y entremezclados con los lodos en las márgenes de los ríos

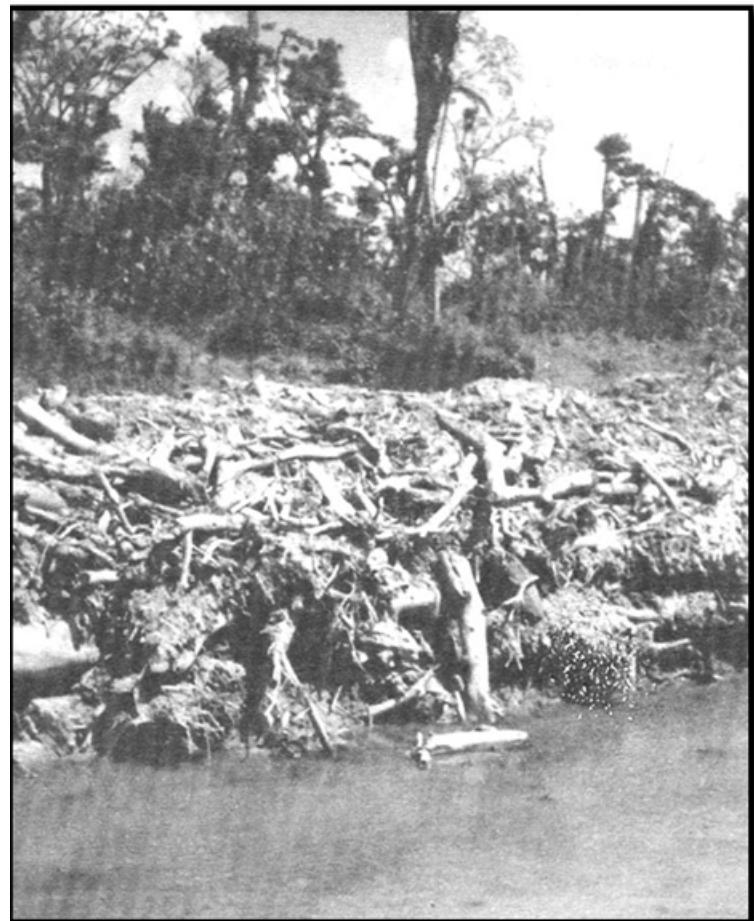


Foto No.10 Detalle del arrastre del río Yabón.

Foto No.11 Playa de Nigua



Foto No.12 Sabana de la Mar



Foto No.13  
Playa de Nigua



Foto No.14  
Agua del océano  
penetrando el  
poblado de los  
pescadores de  
Sabana de la Mar



Foto No.15 Zona anegada en Sabana de la Mar



Foto No.16 A la derecha zona con agua desde el huracán al penetrar el mar. Sabana de la Mar





Foto No.17  
Zonas costeras  
del Este después  
de Georges

Foto No.18  
Barrio  
Mesopotamia.  
San Juan de La  
Maguana



Foto No.19 Barrio Mesopotamia en San Juan de la Maguana, destruido por el Huracán Georges

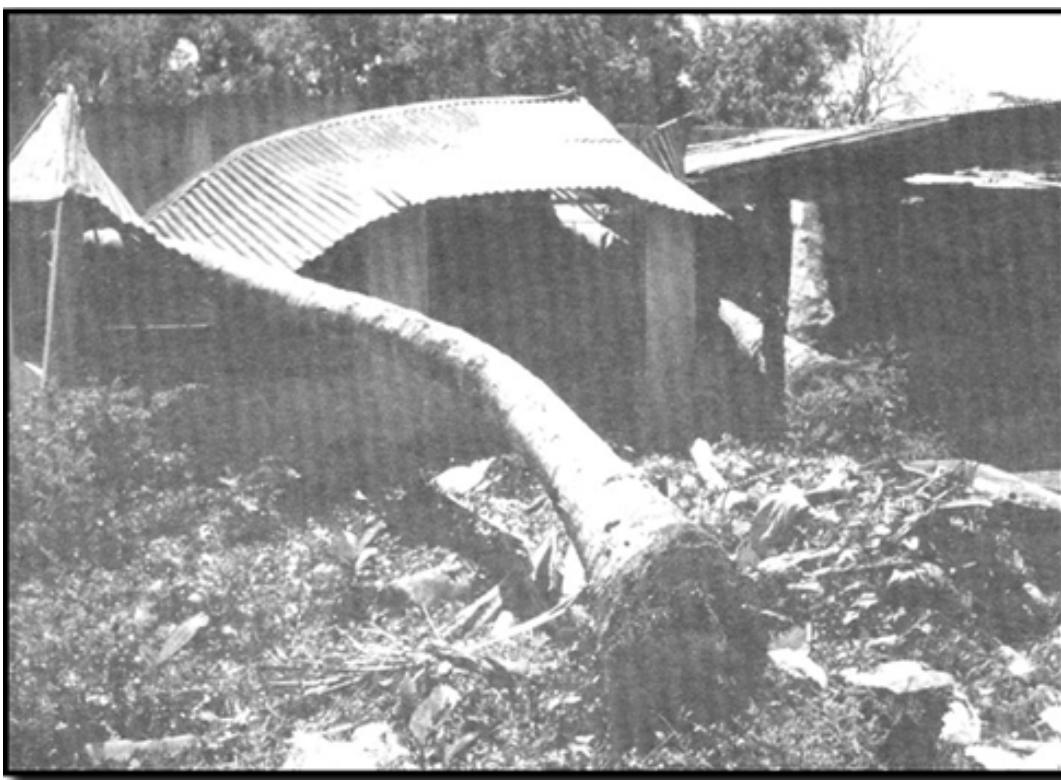
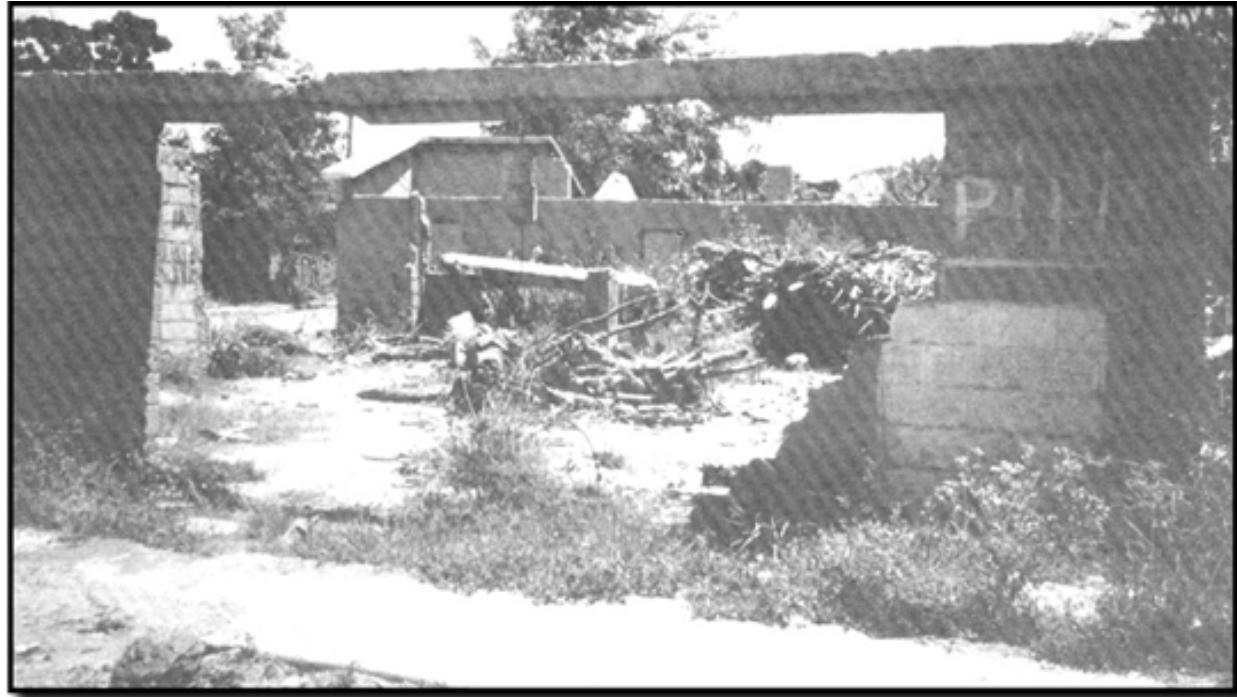


Foto No.20  
Poblado de  
pescadores en  
Sabana de la Mar

Foto No.21 Poblado de pescadores. Sabana de la Mar

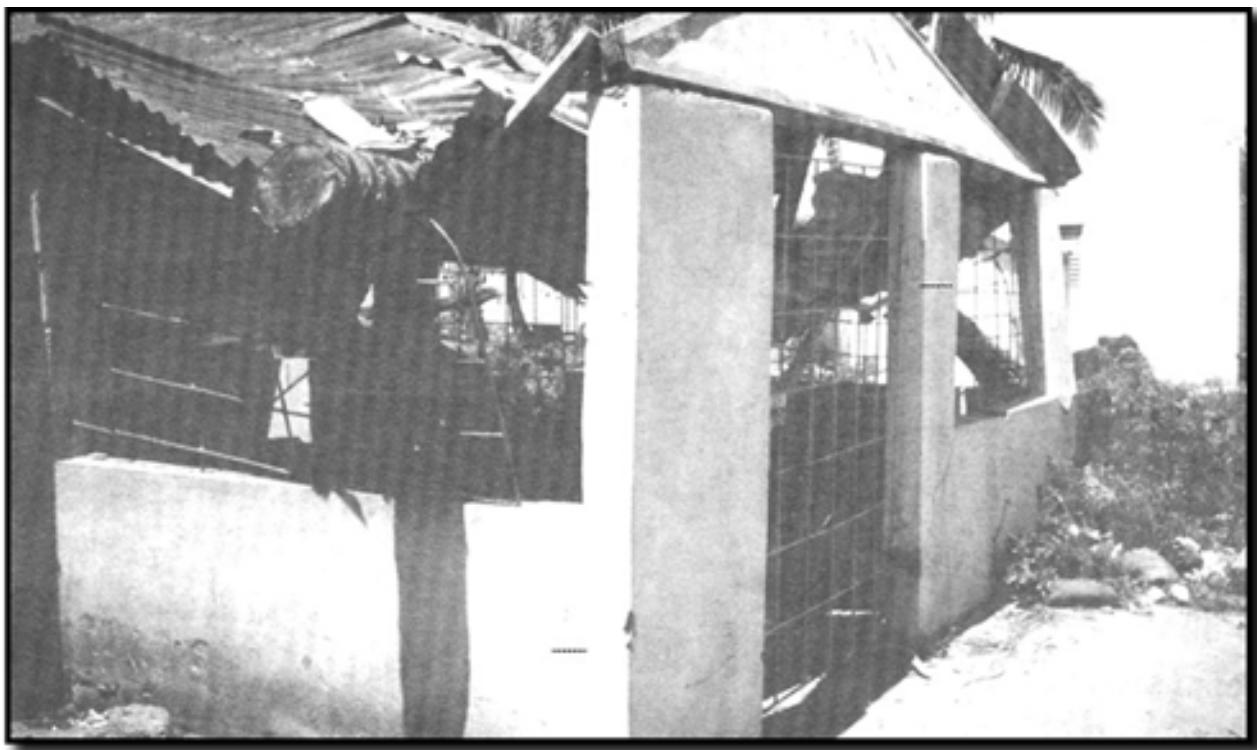


Foto No.22  
Procesos de  
reconstrucción  
después del  
Georges

Foto No.23  
Escuela de Sabana  
de la Mar, cuya  
docencia se ve  
amenazada tras el  
paso del huracán

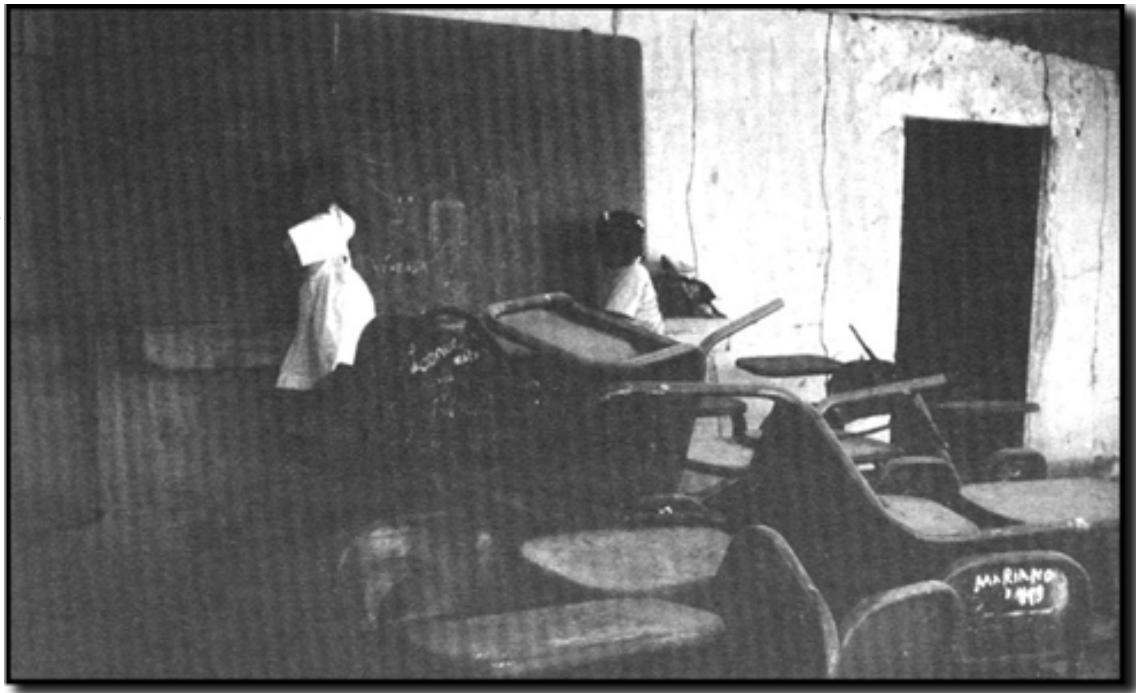


Foto No.24  
Vista del Hotel  
Melía en donde  
se aprecia uno de  
los troncos que  
sirve como  
elemento  
decorativo



## 9.2 Subida del nivel del mar

Un hecho importante relacionado con el cambio climático es la subida del nivel del mar asociado al hecho de que se derriten y disminuye el grosor de las placas de hielo, de que van desapareciendo los pequeños glaciares alpinos y andinos y otras formas de hielo terrestre además de la expansión térmica de los océanos. Esta última es un efecto inducido por los cambios en la densidad del agua debido a que la temperatura sube y la densidad disminuye. El agua dulce derretida también contribuye con su volumen adicional al océano y decrece la salinidad y por tanto la densidad del agua del mar, supliendo con ello los efectos de la expansión térmica. La inercia térmica del océano tiene como resultado un compromiso (obligación) de calentamiento, que hace que, incluso después de que cesen las fuerzas climáticas, el nivel del mar continúe ascendiendo. Efectivamente, el impacto de la expansión térmica asociada con las fuerzas climáticas corrientes, se manifestará de manera más completa en la 2<sup>a</sup> mitad del siglo XXI que en un futuro inmediato.

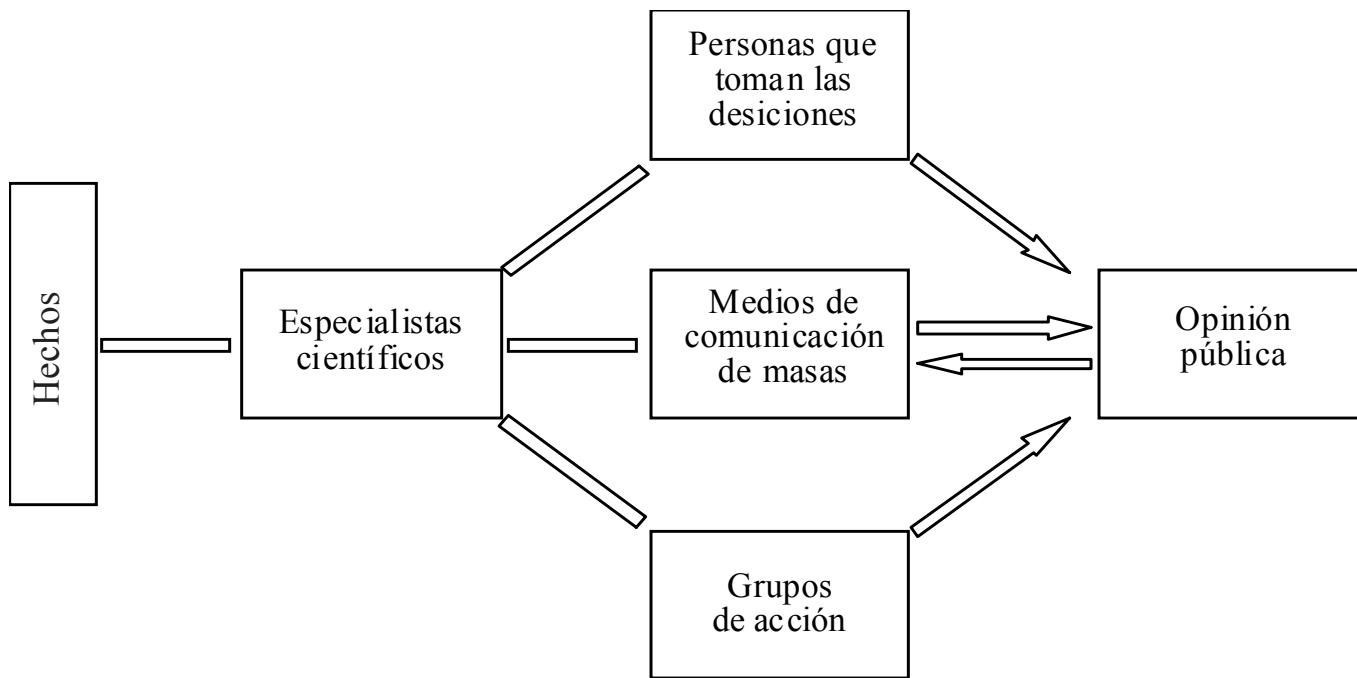


Figura No.23 El flujo de la información sobre el cambio global.

Excepto para un amplio rango de valores, recientes proyecciones de la subida del nivel del mar, en general, confirman las estimaciones anteriores del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático en 1990 (se dijo que subiría de 3 a 124 cm sobre su nivel en los próximos 120 años). El nivel del mar ha subido de 10 a 20 cm durante el siglo pasado y previsiones recientes sugieren una tasa de subida de unos 4 cm por década, de 2 a 4 veces la tasa de los pasados 100 años. El nivel del mar ha fluctuado unos 100m a lo largo de aproximadamente los últimos 18.000 años, ofreciendo una oscilación natural en relación con los efectos de orden antrópico previstos. Estudios de cambios históricos sugieren que el nivel del mar sube y no necesariamente asociado con la erosión de las marismas, y que el descenso del nivel del mar no está asociado necesariamente al incremento de las zonas húmedas costeras.

Si se estabilizan los gases de efecto invernadero las temperaturas de la superficie del océano se equilibrarán rápidamente, pero el nivel del mar continuará aumentando por décadas. Debido a que el calor se propaga en las aguas de las capas más bajas del mismo y se expande. Esta contribución de los gases de efecto invernadero está razonablemente bien estimada y modelizada. Incluso si se asume que estos gases sólo se sigan incrementando hasta el año 2050, la expansión térmica tendrá como consecuencia un incremento del nivel del mar de 31cm. Aunque existen incertidumbres en estos cálculos, parece razonable concluir que el nivel del mar subirá varios decímetros en los próximos 100 años. Sin embargo, descubrimientos de deformaciones en el relieve de nuestro planeta y distribución no al azar de la densidad de los materiales terrestres, junto con la evidencia que indica que los océanos del mundo son divisibles regionalmente en relación a las fluctuaciones históricas del nivel del mar, sugieren que la noción de cambios uniformes en el nivel del mar está anticuada y que la magnitud de los cambios por la acción de los gases de efecto invernadero sobre el nivel del mar, variará regionalmente.

### *9.3 Los huracanes y las tormentas tropicales*

Son éstos característicos de la mayoría de las aguas ecuatoriales en las que se incluyen regiones costeras del Norte, Sur y especialmente Centroamérica. Dentro de los seis cinturones de huracanes del mundo, las tormentas ciclónicas son típicos modelos de tiempo sinópticos. La cuenca del Atlántico completa, incluyendo el Caribe y el Golfo de México, ha sido golpeada por más de 5 huracanes anualmente desde la mitad de este siglo.

Seis factores principales están relacionados con la formación de huracanes y tifones: las temperaturas subsuperficiales de las aguas del océano, la distancia al ecuador, la existencia de gradientes elevados de la temperatura del aire, valores bajos de la línea vertical de cizalladura del viento, alta humedad relativa en la troposfera media y niveles previos de actividad ciclónica. Por ejemplo, temperaturas de las aguas del océano de al menos 26°C a una profundidad de 60 m, son esenciales para la formación de ciclones tropicales que son calentados por la incidencia de estas aguas calientes. Aunque las relaciones entre las temperaturas subsuperficiales del océano y la frecuencia ciclónica varía regionalmente, existen correlaciones positivas consistentes, en tres de los seis cinturones de huracanes que existen.

A causa de que la evaporación se incrementa exponencialmente cuando suben las temperaturas superficiales del agua, se ha inferido que los cambios inducidos por el calentamiento global en las temperaturas del océano y en su circulación pueden incrementar la frecuencia e intensidad de los huracanes e incrementar la extensión de las regiones afectadas por tales eventos. Se ha sugerido que el daño potencial de los huracanes se puede incrementar del 40 al 50 % en el caso de que se doble el contenido de CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Recientes esfuerzos por modelizar el cambio global del clima, han producido resultados distintos en relación a la actividad futura de los huracanes y tormentas tropicales.

#### *9.4 Respuesta ecológica de los ecosistemas de las zonas húmedas costeras a huracanes y tormentas tropicales*

Aunque existe poca evidencia de que los huracanes producen impactos con un detimento a largo plazo de los sistemas costeros no modificados, tales tormentas son capaces de acelerar, desorganizar y dar marcha atrás a numerosos eventos geomórficos y procesos ecológicos y devastar los asentamientos humanos en las áreas costeras. En muchas de estas regiones tropicales y subtropicales, los huracanes modelan la estructura y función de las comunidades de organismos, de la misma manera en las aguas cercanas a la costa, como lo hace el fuego en las regiones semiáridas y el deslizamiento de la nieve en los ecosistemas de montaña.

Así pues, los ciclones tropicales pueden ser la fuerza de perturbación abiótica más significativa desde el punto de vista ambiental en los ecosistemas costeros tropicales y subtropicales.

Los fuertes vientos, la excesiva precipitación, la marejada asociada a la tormenta y el regado de sales, están frecuentemente asociados a los huracanes y tormentas tropicales. El impacto de éstas últimas varía entre las costas y los ecosistemas del interior y puede incluir efectos directos, indirectos y retardados. Estos impactos pueden ser positivos y negativos y, frecuentemente, la severidad de los efectos no está relacionada directamente con la magnitud del huracán o tormenta tropical. Por ejemplo, en el Caribe un simple huracán o tormenta tropical, puede dar cuenta del 5 al 40 % de la precipitación anual que un sitio concreto recibe. Muchas de esas áreas son dependientes de otros eventos episódicos para mantener un balance hídrico neto positivo de agua, ya que de otro modo, existiría una experiencia de sequías más frecuentes.

La precipitación excesiva puede tener también como resultado encharcamientos, deslizamientos de tierras o puede prolongar la duración del nivel de la capa freática correspondiente a la estación húmeda. Los sistemas terrestres pueden experimentar un flujo rápido de una corriente de agua de bajo contenido iónico y la inundación y saturación de los suelos en las zonas bajas. Si las zonas húmedas son dependientes de las aguas superficiales o del agua de lluvia, la recarga puede ocurrir rápidamente. La precipitación excesiva puede actuar incrementando el orden de magnitud en las descargas ribereñas que pueden alterar significativamente los regímenes tanto de corrientes como de salinidad al llegar aguas abajo, con el correspondiente incremento no previsto de sedimentos, nutrientes y material orgánico y causar la avería de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El encharcamiento de las riberas puede tener como resultado una inundación por encima del nivel del mar. El elevado volumen de un río y su velocidad puede transportar sedimentos y nutrientes a la llanura de encharcamiento. La retirada de las aguas puede exportar, en consecuencia, materiales desde la llanura de encharcamiento. Las grandes cantidades de material orgánico transportado con estas aguas y la estratificación de la salinidad, contribuyen a las condiciones anóxicas observadas en los estuarios después de los huracanes y tormentas tropicales.

El viento y la lluvia son los responsables de la mayoría de los daños observados en los sistemas costeros; sin embargo, impactos significativos pueden estar también ligados con las fuertes marejadas asociadas a las tormentas que pueden alcanzar varios metros por encima del nivel del mar. Los huracanes en la costa del Golfo de México y las islas pueden tener como

consecuencia un sustancial impacto de la marejada debido a un terreno relativamente llano. En dichas áreas algún huracán se extendió 2 Km tierra adentro y convirtió un manglar en un ambiente submarino sin vegetación. Las marejadas inducidas por huracanes transportan agua salada, sedimentos y partículas de material orgánico tierra adentro hacia zonas húmedas de agua dulce y salobres y zonas terrestres situadas en cotas bajas. La salinidad puede permanecer elevada en los suelos por más de un año, causando cambios significativos a largo plazo en las comunidades vegetales.

nivel en el proceso cognitivo	problemas que plantea	ejemplos
<b>1. EL NIVEL DE CONOCIMIENTO</b>	la naturaleza de la información sobre el cambio global	lo que la gente ha oído sobre el tema ej.: la televisión emite un programa sobre el efecto invernadero
<b>2. LA PERCEPCIÓN Y LA COMPRENSIÓN</b>	el proceso cognitivo	la gente comprende exactamente (representación mental) lo que sucede y las consecuencias para el hombre. Ej. : la Tierra se está calentando.
<b>3. LA VALORACIÓN (actitudes, valores, preferencias)</b>	el proceso afectivo	la gente incorpora afectivamente a su escala de valores. Ej. : es un problema grave, habría que hacer algo, el gobierno tendría que intervenir
<b>4. LA CONDUCTA</b>	la confrontación de los valores con las opciones	La gente actúa en consecuencia. Ej. : se adhiere a una asociación ecologista, cambia sus hábitos de consumo (transportes, basuras)

Figura No.24 Los diferentes niveles de la percepción y la valoración humanas del cambio global

Los huracanes alteran la periodicidad, cantidad y calidad del imput (entradas) de nutrientes a los ecosistemas terrestres y de zonas húmedas. En los ecosistemas forestales, los huracanes generan un amplio incremento de hojarasca que contiene concentraciones por encima de la media de nutrientes y carbono orgánico lábil. La entrada de nutrientes asociados a la hojarasca por una simple tormenta puede oscilar entre 2 y 5 veces la entrada media anual. El incremento de la entrada de nutrientes está asociada con la cantidad de hojarasca y con la regularidad del evento. Las plantas traslocan normalmente la mayoría de los nutrientes contenidos en las hojas y espinas antes que la hojarasca normal. Así, la hojarasca producida como consecuencia de una tormenta, particularmente cuando ocurre antes de la época normal de caída de la hoja, puede contener por encima de 3 a 5 veces de nitrógeno, fósforo, magnesio y potasio que los valores medios de hojarasca. Por ejemplo, el huracán Hugo, de septiembre de 1989 indujo aproximadamente el doble de nitrógeno que las cantidades relacionadas con las entradas medias anuales de hojarasca en el bosque tropical de Puerto Rico.

Con respecto a la vegetación, los bosques de altiplanicies, las zonas de ribera, los manglares, las zonas húmedas reforestadas y los otros tipos de bosque, han acusado daños substanciales por el viento huracanado. La extensión de estos daños en los ecosistemas de bosque costero se ven influenciados por la composición de las especies, la estructura de edad de sus poblaciones y las características geomorfológicas. En ambientes costeros, los daños adicionales de los huracanes, pueden ser resultado de las grandes olas que pueden llevar agua con una cantidad elevada de iones y sedimentos, ricos en materia orgánica, varios metros tierra adentro y terminar atrapados en las áreas húmedas bajas. El transporte como aerosol de las sales, asociado a los vientos puede tener efectos locales sobre la vegetación mediante desecación o estrés salino. La mortalidad de árboles en bosques costeros causada por el huracán Hugo, fue resultado de la salinización del suelo por las grandes olas, que causó una epidemia de escarabajos que atacaron a sus cortezas.

Aunque las especies arbóreas exhiben una respuesta variada ante la fuerza de un huracán, varias tendencias, de tipo general, son evidentes. Los árboles costeros son dañados a veces menos que los árboles que tienen una mayor amplitud de distribución geográfica, y los árboles más grandes son mas fuertemente dañados que los pequeños. De manera similar, los huracanes inflingen los mayores daños, por lo general, en bosques de manglar que en otros bosques con árboles de mayor porte. Se ha dicho que los huracanes son una de las mayores fuerzas selectivas en la estructura de los bosques costeros de ciertas áreas tropicales.

Las comunidades de marisma se ven afectadas de forma diferente por los huracanes y las tormentas tropicales. Así por ejemplo: *Spartina alterniflora*, *Juncus roemerianus* y *Phragmites communis* se han visto afectadas por huracanes, mientras que las cepas de la herbácea *Thalassia testidinum* no han sufrido efectos en el sur de Florida. Los macrofitos son dañados frecuentemente, pero generalmente no hay un efecto a largo plazo en las marismas naturales de aguas salobres. La vegetación leñosa es probablemente más dañada que la herbácea. Marismas alteradas por el hombre, son por lo general más alteradas que las que se conservan sin esa intervención y los macrofitos emergentes presentes en zonas húmedas de aguas dulces, pueden experimentar una elevada mortandad como consecuencia de la inundación por agua salada.

Los huracanes pueden desorganizar las comunidades de animales, causando mortandad en numerosos vertebrados e invertebrados estenohalininos como consecuencia del aumento de sales en estas zonas húmedas costeras. Otras poblaciones, como los crustáceos, decrecen de forma significativa, pero su densidad puede aumentar aguas abajo, lo que sugiere que se han desplazado en respuesta a la alteración de la calidad del agua. También a veces, son desplazados los caimanes. Estos efectos suelen ser de escasa duración (aproximadamente unos dos meses) y por tanto la regeneración es posible si la mortandad no fue muy elevada. En general, muchas poblaciones de invertebrados y vertebrados se ven muy poco afectadas por los huracanes y tormentas tropicales o son altamente resistentes a tales perturbaciones (como los insectos). De todos modos, sí pueden ser afectadas las formas jóvenes de algunas poblaciones animales, como por ejemplo lo han sido muchas tortugas aún no salidas del huevo.

Las comunidades de aves que habitan zonas costeras húmedas se caracterizan por su elevada densidad de poblaciones y su considerable riqueza de especies y, en general, suelen ser también resistentes a las perturbaciones. Solamente para las poblaciones endémicas, los huracanes presentan un peligro real. Incluso, éstos pueden matar muchos organismos, como consecuencia del excesivo viento y lluvia. La mortalidad inducida por los huracanes puede ser mayor cuando éstos llegan en la estación de cría (como los nidos en playas). Las especies se ven afectadas lógicamente por los daños que sufre la vegetación, pero en muchos casos, la disminución de la población representa más el desplazamiento de individuos que su mortandad; otras veces se afecta la dinámica competitiva dentro de la comunidad, así como aumenta la vulnerabilidad a la depredación.

Los daños directos e indirectos de los huracanes reducen inicialmente la producción primaria y pueden incrementar la traslocación de compuestos de la fotosíntesis. Sin embargo, a través de la creación de huecos y del incremento del índice de renovación de nutrientes y de su disponibilidad, los huracanes, finalmente estimulan la producción primaria neta. El incremento del crecimiento sucede por la producción de nuevas hojas y generación de plántulas, brotes nuevos y un flujo de vegetación nueva. Esto sucede con rapidez después del paso del huracán (alrededor de unos 5 años).

## X.- CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO

El clima de un lugar ejerce una influencia decisiva en las sociedades humanas, configurando los modos de vida y la cultura de las personas. El clima es un factor crucial para la agricultura y la ganadería, así como para el funcionamiento de los ecosistemas naturales y de todo ello depende nuestra vida. Las sociedades humanas más sensibles al calentamiento y al cambio climático en general, son las que se asientan en zonas costeras y aquellas que en mayor medida dependen de una agricultura de subsistencia con pocas posibilidades de adaptación, en particular las que se encuentran hoy día en una situación límite para la agricultura, como ocurre en el Sahel, Este de Brasil, Sureste de Asia y Centroamérica. Sin embargo, sería un error pensar que los efectos vayan a ser pequeños para las zonas ricas del mundo, aunque existan en ellas muchos más medios y capacidad para adaptarse al calentamiento global.

Realmente el efecto invernadero y la consecuente subida de la temperatura media en nuestro planeta constituyen objeto tanto de discusión científica como política. ¿Qué decir del debate que se viene desarrollando en los últimos años en las comunidades científica, ecologista y política en relación a las emisiones de gases a la atmósfera que implican la subida de la temperatura? Nuestro entorno global está sometido a agresión desde muchos frentes. El calentamiento global no es más que uno de ellos, quizá el más complejo. Dado que las actividades humanas que están implicadas en el calentamiento global (ver figura 20), están relacionadas con la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente del dióxido de carbono, se ha tratado, como ya vimos el apartado anterior, de pactar un acuerdo político que reduzca dichas emisiones a la atmósfera. En la figura 19 se muestran aquellos países que deben reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

El Norte rico, con un 26 % de la población, es responsable de las tres cuartas partes de las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que significa unas 3.5 toneladas de carbono por persona y año, mientras el Sur emite como media 0.38 toneladas. La parte de las emisiones de este gas acumuladas desde la revolución industrial procedente de los países del Norte supera el 85 % de las emisiones totales. Por esta razón los países en vías de desarrollo no perciben por qué deben cooperar en la resolución del cambio climático, un problema ambiental que ellos no han generado.

Recordemos que por el protocolo de Kioto los países desarrollados se comprometieron a reducir sus emisiones, (una reducción media de un 5.2 % respecto al nivel de emisiones de 1990 hacia el período 2008 a 2012), estableciendo un plan de acción a nivel planetario para un problema que nos afecta a todos. El asunto es cómo se deben repartir entre los distintos países las emisiones permitidas globalmente. Pero los países industrializados se han dado la oportunidad de comprar a los países en vías de desarrollo más toneladas de CO<sub>2</sub>, por ejemplo. Es la omnipresente ley de la oferta y la demanda, que no quiso faltar en la Conferencia de Buenos Aires. Por esta teoría, el sistema de compra-venta de contaminación consiste, fundamentalmente, en que los países ricos hacen inversiones «limpias» -en tecnologías no contaminantes- en las naciones menos desarrolladas y, en función de la cuantía de estos acuerdos comerciales, aumentan su cupo de emisiones.

Otro aspecto se refiere a la culpabilidad que tienen algunos países en vías de desarrollo por la deforestación de sus masas forestales, con la consiguiente repercusión climática. Hay que decir que la información sobre la pérdida de masa forestal en el mundo es todavía muy deficiente y es difícil su empleo para cualquier cálculo sobre las emisiones de dióxido de carbono con el mismo nivel que las estimaciones hechas con la información de los combustibles fósiles. Hay también considerables incertidumbres a la hora de estimar las cantidades de carbono liberado en el transcurso de la deforestación de un área concreta.

No existe pues una solución técnica, al respecto, sino política, basada en principios éticos (equidad, responsabilidad de emisiones presentes y pasadas), y cuya puesta en marcha debe venir a través de acuerdos multilaterales, acompañados de medidas unilaterales ejemplares de reducción de emisiones por parte de los países que más producen esta contaminación térmica. El mantenimiento del sistema climático necesita reducciones masivas de las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial de CO<sub>2</sub>, responsable de más de la mitad del calentamiento de nuestra atmósfera.

Por último, otra cuestión que nos parece debe tratarse en este apartado es el hecho de la subida de las aguas, como consecuencia del calentamiento global, que supondrá para muchas regiones y estados insulares no sólo pérdida de territorio donde viven muchas personas, sino también de turismo, con lo que éste está generando de recursos económicos en varios de estos países (por ejemplo, supone entre el 15 y 18 % del producto interior bruto en muchos países del Caribe). La pérdida de playas, de ecosistemas marinos, de infraestructuras costeras, de instalaciones energéticas y de vías de transporte debido al aumento del nivel de mar puede ser una cuestión que agrave más el desarrollo de esos países.

Jeffrey Sachs, Director del Instituto Harward para el Desarrollo Internacional ha comentado en este año 1999 varias cuestiones en relación a la temática que nos ocupa y ha afirmado lo siguiente:

*"Si los países ricos son el motivo principal del cambio climático, y si éste es un factor importante en la pérdida de vidas y cosechas, en la destrucción material, e incluso en la propagación de enfermedades por los países pobres, entonces los países ricos tienen una tarea pendiente. Tienen que contribuir a pagar los daños que indirectamente infligen a los países más pobres. Tienen que adoptar medidas serias y a largo plazo (como reducir su uso de combustibles fósiles) para limitar los costes medioambientales que imponen al resto del mundo"*

(Project Syndicate, 1999)

## XI.- CUESTIONES PARA LA ACCIÓN EDUCATIVA

No vamos a pretender ofrecer, en este apartado, un instrumento didáctico en relación a la temática tratada, sino más bien exponer, algunas ideas que puedan conducir a la elaboración de dichos instrumentos por parte de las/los docentes. En primer lugar, desearíamos que prácticamente todo el contenido abordado en los apartados anteriores constituyese un componente curricular para la escuela o para todo sistema educativo que se considere de formación básica para los ciudadanos/as de un país. Se resumen, no obstante, en el cuadro nº 8 el contenido científico actual sobre el cambio climático. Tanto el modelo integrativo del cambio climático global que se muestra en la figura 21, como la complejidad de las interacciones que afectan al funcionamiento de la máquina climática (figura 25), ponen de manifiesto los principales contenidos cognitivos que deben ser abordados, por lo que pueden ser considerados como el mapa conceptual de dicho tema. Así mismo, se expone el cuadro nº 9 las cuestiones que juzgamos de mayor interés en relación a este apartado.

Todos los aspectos señalados en el elenco sistematizado expuesto en el párrafo anterior, pueden dar pautas para constituir diferentes Proyectos de Centro y/o distintas unidades didácticas que apuesten por la enseñanza-aprendizaje de lo complejo y de la integración de las disciplinas científicas en el ir haciendo cada vez más posible la interdisciplinariedad para el conocimiento de los temas medioambientales, sobre todo, por la integración de las ciencias naturales y sociales. Lógicamente, dependiendo de la ubicación y circunstancia de cada centro educativo, así como del nivel escolar, las programaciones podrían tener en cuenta aquellas cuestiones científicas del tema que puedan ser mejor llevadas a la práctica docente.

Somos conscientes de las dificultades en que se encuentran muchas escuelas situadas en las áreas más desfavorecidas, dentro incluso de muchos países desarrollados o en vías de desarrollo. Una se pregunta como puede ser «el cambio climático» un tema de interés escolar para que resulte motivador y se deseé aprender acerca del mismo, cuando hay otra temáticas que pueden resultar más atractivas o más urgentes, sobre todo para muchos maestras/os responsables de la formación de ciudadanía en estos sectores empobrecidos. Solamente nos cabe seguir apostando por el lenguaje gráfico, simbólico y narrativo de la cultura popular. Para ello, esta publicación puede ser un referente que motive a la comunidad educativa en los lugares señalados, a pensar en cuales serían los elementos básicos de una acción que permitiera tener un esquema cognitivo adecuado respecto, no sólo a una cuestión que nos afecta a todos, sino también para no dejarse manipular por una «opinión pública» transmitida, a veces, por imágenes defectuosas en un televisor de segunda mano y alrededor del cual se apretuja la familia numerosa, los vecinos y los niños de un ranchito miserable, dado el papel que juega, hoy día, la cultura de las imágenes; ( téngase en cuenta las figuras 22, 23 y 24).

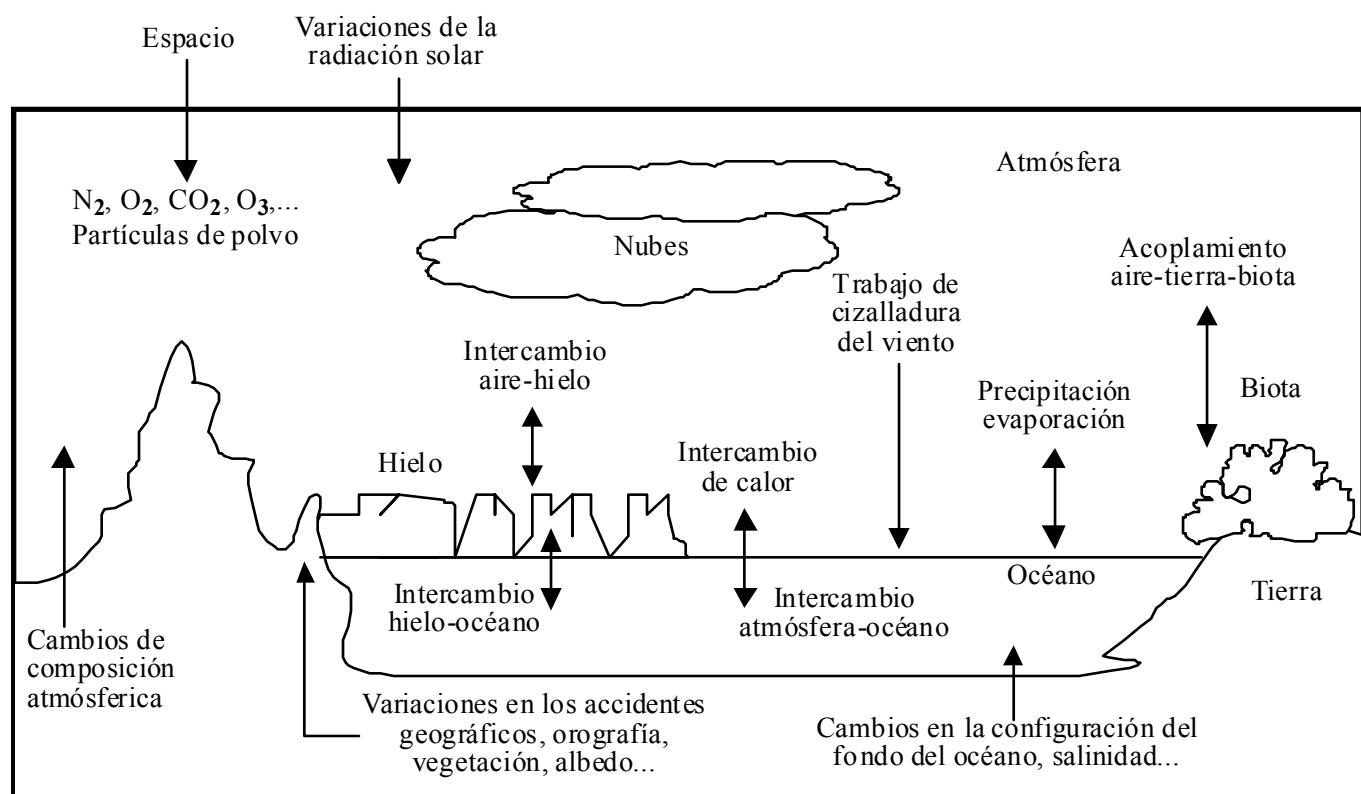


Figura No.25 Complejidad de las interacciones entre el suelo, el mar, el aire y el hielo, las cuales afectan al funcionamiento de la máquina climática.

### CONTENIDO CIENTÍFICO ACTUAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

- EL CONCEPTO DEL SISTEMA CLÍMA
- VARIABILIDAD CLIMÁTICA OBSERVADA (IPCC 1990 Y 1995)
- PROCESOS CLIMÁTICOS (PROCEOS ATMOSFÉRICOS, OCEÁNICOS Y EN LA SUPERFICIE DEL SUELO)
- EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS Y PROSPECIÓN FUTURA
- CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR
- DETECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y ATRIBUCIÓN DE CAUSAS
- CONSECUENCIAS ECOLÓGICAS DEL CAMBIO GLOBAL DEL CLIMA. INCERTIDUMBRES RESPECTO A LAS CONSECUENCIAS ECOLÓGICAS A NIVEL REGIONAL Y LOCAL

Cuadro No.7 Contenido científico acutual sobre el cambio climático.

EL CAMBIO CLIMÁTICO DEBE ABORDARSE EN TODOS LOS NIVELES DE LA EDUCACIÓN FORMAL Y CON TODOS LOS ELEMENTOS PARA LA FORMACIÓN DE LA CONCIENCIA CRÍTICA.

(objetivos científicos, valorativos, actitudinales y políticos)

EXIGE UNA RESTRUCTURACIÓN DE LOS CONTENIDOS TRADICIONALES SOBRE EL CLIMA.

(atención a conceptos integradores como "sistema", "cambios", "procesos de interacción")

\* EL CAMBIO CLIMÁTICO ES UN BUEN EJE TEMÁTICO PARA FORMAR CIUDADANAS/OS EN LA ESCUELA ASÍ COMO ES TAMBIÉN UN ELEMENTO PARA LA EDUCACIÓN PERMANENTE.

(se hace totalmente necesario para aquellos países que sufren con más frecuencia las adversidades climáticas)

\* HACER DEL CAMBIO CLIMÁTICO UN MÓDULO EDUCATIVO ES ACERTAR EN PROGRAMACIONES GLOBALES ACERCA DEL MEDIO AMBIENTE SIN DESCUIDAR NUESTRA ACTUACIÓN A ESCALA LOCAL.

Cuadro No.8 Algunas cuestiones medulares para la acción educativa relativa al cambio climático.

No nos parece oportuno incidir en los aspectos catastróficos vinculados a este tema, dado que los aspectos negativos no son buenos elementos pedagógicos. Sin embargo, muchos aspectos vinculados a las catástrofes que provocan los huracanes en los países tropicales, esencialmente la pérdida de vidas humanas y de asentamientos de la población en lugares no aptos para ello, pueden paliarse en la medida en que los ciudadanos/as de un país estén formados y puedan ejercer democráticamente sus derechos a los gobiernos respectivos, no podemos olvidar, como se ha afirmado últimamente, que la intensidad de los huracanes Georges y Mitch ha estado directamente relacionada con la degradación ambiental debida a la falta de planificación territorial, deforestación y sistemas de producción no adecuados para las condiciones ambientales concretas de los países afectados. Por esta razón, la temática tratada se hace cada vez más imprescindible en la educación para estos países. Solo así, en la medida en que se produzca una concienciación de la gente, se podrán exigir las responsabilidades políticas al respecto, entre otras:

¿Cumple el país con los compromisos adquiridos a nivel internacional en relación al cambio climático?

¿Cómo están siendo las tomas de medidas oportunas para no padecer la gente los grandes impactos que tendrán los próximos huracanes en los países tropicales?

¿A qué tipos de suelos pueden afectar esencialmente los impactos derivados de los eventos de "El Niño"?

¿Hay alguna planificación de ordenación del territorio en el país con relación a costas y previsión de efectos de la subida del nivel del mar en las islas?

¿Hay legislación en el país respecto a delitos ecológicos por emisiones de gases a la atmósfera o por permitir vehículos con motores en malas condiciones?...

## XII-. GLOSARIO

- **AEROSOLES ATMOSFÉRICOS.**- Son partículas suspendidas en el aire. Pueden ser de origen natural (polvo levantado por el viento, gotas de agua marina alzadas por una tormenta, polen, etc.), pero también polvo y humo producidos por la industria o la agricultura.
- **ALBEDO.**- Fracción de la energía solar incidente dispersada o reflejada al espacio sin ser absorbida.
- **ALTERACIONES CLIMÁTICAS.**- Se refieren a cualquier alteración producida por actividades humanas. Su duración es de 10 años o más.
- **ANTRÓPICO/A.**- Perteneciente o relativo a la naturaleza humana. Se dice que algo es de naturaleza antrópica cuando es debido a la acción o intervención directa del hombre/mujer.
- **BIOSFERA.**- Conjunto de las zonas de la tierra donde es posible alguna forma de vida.
- **CLIMA.**- No significa exactamente tiempo medio, sino que incluye los siguientes componentes: la atmósfera, los océanos, las superficies de hielo, el suelo y la biomasa; todos ellos forman parte del clima, interactúan unos con otros de forma no lineal y en diferentes escalas de tiempo.
- **CAMBIO CLIMÁTICO.**- Es el relacionado con los cambios periódicos de la órbita terrestre en relación al sol. La escala temporal se sitúa entre los diez mil y el millón de años.

- **FLUCTUACIÓN CLIMÁTICA.**- Provocada por las casi periódicas variaciones de la emisión de la energía solar, la ralentización de la circulación oceánica en las capas profundas y los mecanismos terrestres de retroalimentación. La escala temporal oscila entre la década y el milenio.

- **MACROCLIMA.**- El clima de una extensa región geográfica.

- **MESOCLIMA.**- El clima de pequeñas áreas de la superficie terrestre.

- **MICROCLIMA.**- El clima local, más bien uniforme, de un lugar específico, en contraste con el clima de toda el área geográfica de la cual ese lugar específico forma parte.

- **MODELOS.**- Sistemas formalizados de expresiones lógicas y matemáticas (algoritmos) que tratan de analizar diferentes aspectos y evolución de fenómenos reales ( por ejemplo, de las condiciones geofísicas que producen el clima global).

- **PALEOCLIMAS.**- El clima que existió en el pasado, en particular antes de que existieran registros históricos.

- **"RESILIENCIA".**- Ponemos este término entrecerrillado porque no tenemos una traducción exacta del término inglés resilience, que significa la propiedad que tienen los ecosistemas de volver a la estabilidad después de producirse una perturbación en el mismo.

- **SEQUÍA AGRÍCOLA.**- Se produce cuando no existe un grado de humedad adecuado en el momento preciso para la formación y maduración de la siembra. Ante el distinto requerimiento de humedad que el desarrollo vegetal va reclamando, la distribución de las precipitaciones a lo largo de toda la estación de crecimiento importa tanto como la cantidad total de lluvia caída cada mes o en toda la estación.

-**SEQUÍA HIDROLÓGICA.**- Se presenta cuando el nivel de un curso de agua desciende durante un intervalo determinado de sequía en función del nivel a partir del cual la reducción del caudal de agua empieza a afectar significativamente a determinadas actividades humanas, como el riego y la generación de energía eléctrica.

- **SEQUÍA METEOROLÓGICA.**- Puede definirse en función del grado de falta de agua (expresado a través de la reducción porcentual con respecto a la pluviosidad media anual o estacional a largo plazo) y de su duración en una región dada. Esta definición admite múltiples variaciones, puesto que su significado suele ir ligado a las condiciones propias de una región y depende a la actividad humana en relación a la cual se valora la pluviosidad.

- **SISTEMA TIERRA.**- La tierra considerada como un sistema de diferentes componentes que interaccionan entre sí, incluyendo el núcleo, la corteza, la litosfera, los océanos, la atmósfera, la criósfera y la biosfera.

- **SISTEMA CLIMÁTICO.**- Formado por los componentes interactivos de nuestro planeta que determinan el clima. Incluye la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, el hielo marino, las nieves, los glaciares y la biosfera. El cambio del clima puede medirse mediante la función de valores de cualquier componente del sistema, pero es muy conveniente utilizar la temperatura superficial del aire, dado que es el parámetro para el que tenemos los mejores registros y antecedentes, y es el de mayor importancia para la componente de la atmósfera que los humanos conocemos mejor.

## XIII.- BIBLIOGRAFÍA

- Cambio Climático. **Ecosistemas**, 12/13, 1995
- **Climate Change 1995. The Science of Climate Change.** Contribution of working project to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ed. University Press, Cambridge, 1996.
- FAO 1996. **Cambio climático, bosques y ordenación floral. Una visión de conjunto.**
- **El Clima.** Libros de Investigación y Ciencia, 1991
- DAMAS, G. y HERNÁNDEZ, A. J. 1988. - **La guerra del ozono.** Crítica, 759: 23-25
- GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems). **A Concise Guide 1998.** Barcelona.
- HERNÁNDEZ, A. J. y Colectivo de Estudiantes de Ecología. 1987. - **Temas Ecológicos de Incidencia Social.** Ed. Narcea y Servicio de Publicaciones Universidad de Alcalá.
- HERNÁNDEZ, A. J. 1989. - **Civilización y Cambios Climáticos.** Crítica, 763: 28-32
- HERNÁNDEZ, A. J. 1991. - **Catástrofes Naturales.** Crítica, 788: 32-35
- IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) 1997. -**A Study of Global Change.** Barcelona.
- LAMBERT, G. and MONFRAY, P. 1994. - Efecto invernadero: ¿hay que desechar nuestros temores? **Mundo Científico**, 152 (14) : 1058-1059
- LUDEVÍD, M. 1997. - **El Cambio Global en el Medio Ambiente. Introducción a sus causas humanas** - Ed. Marcombo (España).

- MICHENER, W. K; BLOOD, E. R; BILDSTEIN, K. L; BRINSON, M. N. and GARDNER, L. 1997. Climate Change, Hurricanes and Tropical Storms, and Rising Sea Level in Coastal Wetlands. **Ecological Applications**, 7 (3): 770-801
- PEÑUELAS. J. 1988. - **De la Biosfera a la Antroposfera**. Ed. Barcanova (España)
- RICCARDI, A. J. 1995. - **Cambio Global. Causas, Ciencia, Tecnología e Implicaciones Humanas**. Ed. Academia de Geografía, Argentina.
- **The Ecological Consequences of Global Climate Change**. Advances in Ecological Research. Ed. Academic Press. 1992.
- **Todo lo que siempre quiso saber sobre el Cambio Climático**. Ed. Climate Action Network. (En español, publicado por AEDENAT, Madrid).1994.
- WALKER, B. and STEFFEN, W. (eds).1996. -**Global Change and Terrestrial Ecosystems**. International Geosphere-Biosphere Programme, University Press Cambridge.
- **World Watch** (Ed. en español como "Perspectiva Mundial"). Cambio Climático, vol 10 (6).1998.