

01059

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

89222

VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA TIERRA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN GEOGRAFÍA

*Evaluación de Recursos Naturales*

P R E S E N T A:

CARLOS CONSTANTINO MORALES MÉNDEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

Las variaciones climáticas en la Tierra es un proceso que se ha repetido siempre en el transcurso de la historia geológica. Las causas que las motivan han sido casi siempre de carácter natural, pero en los últimos siglos las actividades humanas están relacionadas con el fenómeno. Así, el estudio comprende la evolución del clima desde la era Precámbrica hasta la actualidad.

La investigación tuvo como objetivo general, la identificación y el ordenamiento de los fenómenos terrestres y cósmicos que han dado lugar a las variaciones climáticas en la Tierra. Se destacaron las principales teorías y factores que pudieron intervenir en cada período de la historia geológica. Se realiza mayor énfasis en aquellas que probablemente tuvieron mayor participación en cada evento atmosférico.

La investigación se basó en la consulta bibliográfica y hemerográfica, tomando en cuenta diversas disciplinas. De estas fuentes de información se consideraron diversos puntos de vista que emiten al respecto diversos investigadores de los temas, con lo que se encontraron posiciones similares, discrepantes o polémicas, y esto enriqueció el estudio.

Los resultados revelaron que dentro de la diversidad de fenómenos que actúan en el proceso atmosférico, son la radiación solar y las diferentes posiciones astronómicas de la Tierra, los eventos más importantes que determinan mayores variaciones atmosféricas a través de miles y millones de años, pero a partir del siglo XX las emisiones de gases de efecto de invernadero pueden ser las causantes primordiales del denominado Cambio Climático Global.

# ÍNDICE

	Página
<b>PRÓLOGO</b>	
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1 Presentación	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.2.1 Objetivos	5
1.2.2 Hipótesis	5
1.2.3 Justificación	6
1.2.4 Metodología	8
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	<b>11</b>
2.1 Clima	11
2.2 Climatología	18
2.3 Ramas de la Climatología	19
2.3.1 Climatología Física	19
2.3.2 Climatología Aplicada	20
2.4 Espacios climáticos	24
2.5 Tiempo atmosférico	26
2.6 Concepciones de variación y cambio climático	29
2.7 Elementos y factores climáticos	31
2.7.1 Elementos	31
2.7.2 Factores	31
2.8 Clasificación de elementos y factores del clima	35
2.9 Factores geográficos	38
2.9.1 Latitud	38
2.9.2 Altitud	40
2.9.3 Orientación del relieve	41
2.9.4 Continentalidad	42
2.9.5 Corrientes marinas	44
2.9.6 Vegetación	44
2.9.7 Naturaleza del suelo	45
2.10 Factores antrópicos	46
2.10.1 Deforestación	47
2.10.2 Erosión	48
2.10.3 Materiales urbanos	48
2.10.4 Contaminación del aire	50
2.10.5 Deterioro de los cuerpos de agua	52
2.10.6 Irrigación en desiertos	53
2.10.7 Siembra de nubes	54
2.10.8 Invierno nuclear	56
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>FACTORES QUE EXPLICAN LAS FLUCTUACIONES CLIMÁTICAS</b>	<b>58</b>
3.1 Teorías astronómicas	58
3.1.1 Excentricidad de la órbita de la Tierra	58
3.1.2 Inclinación del eje terrestre	60
3.1.3 Actividad solar	63

3.1.4	Impacto de asteroides	68
3.1.5	Nubes de polvo cósmico	71
3.1.6	Influencia de los sínodos	73
3.2	Teorías terrestres	74
3.2.1	Erupciones volcánicas	74
3.2.2	Tectónica de placas	82
3.2.3	Deriva continental	84
3.2.4	Oscilaciones del campo magnético de la Tierra	88
3.2.5	Ventilas hidrotermales	92

#### **CAPÍTULO IV**

#### **VARIACIONES CLIMÁTICAS Y SUS CAUSAS EN LAS ERAS GEOLÓGICAS**

		96
4.1	Prepaleozoica	97
4.2	Paleozoica	101
4.2.1	Cámbrico	101
4.2.2	Ordovícico	103
4.2.3	Silúrico	105
4.2.4	Devónico	107
4.2.5	Carbonífero	109
4.2.6	Pérmico	112
4.3	Mesozoico	114
4.3.1	Triásico	114
4.3.2	Jurásico	116
4.3.3	Cretácico	118
4.4	Cenozoica	121
4.4.1	Pleistoceno	126
4.4.2	Holoceno	135
4.4.2.1	Óptimo climático	136
4.4.2.2	Período subboreal	139
4.4.2.3	Clima medieval	142
4.4.2.4	Pequeña edad glacial	147

#### **CAPÍTULO V**

#### **EL CLIMA DE 1850 A LA ACTUALIDAD Y EL EFECTO INVERNADERO**

		155
5.1	El clima de 1850 a la actualidad	155
5.2	Efecto invernadero global	162
5.3	Dióxido de carbono, océanos y plantas	172
5.4	Ozono y efecto invernadero	176
5.5	"La guerra de las industrias de los clorofluorocarburos"	183
5.6	Algunas consideraciones sobre el Cambio Climático en México	190

<b>CONCLUSIONES</b>	210
---------------------	-----

<b>RECOMENDACIONES</b>	217
------------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	218
---------------------	-----

## PRÓLOGO

Las variaciones y los cambios climáticos han acontecido en la Tierra por manifestaciones naturales, y son eventos tan antiguos como el planeta, no obstante, después de la Revolución Industrial han tomado actualidad como consecuencia de las prácticas irreflexivas que ha provocado el ser humano en el medio ambiente.

A medida que la población humana se ha incrementado, sus necesidades también han crecido, por lo que se han alterado o transformado algunos elementos como la vegetación natural, los mantos de agua, las propiedades del suelo, las características del relieve, la calidad del aire, etc., y por tanto las condiciones climáticas. No obstante, en el presente estudio se consideran a los fenómenos naturales como los causantes más importantes en las variaciones climáticas.

Por otro lado, la investigación puede servir a todos aquellos estudiantes y profesionistas que relacionan diversos eventos del medio ambiente con las manifestaciones climáticas, como son: geógrafos, climatólogos, biólogos, ecólogos, economistas, agrónomos, hidrólogos, historiadores, abogados, psicólogos, etc. La importancia y el interés por los acontecimientos atmosféricos radica en que éstos afectan a todo el sistema tierra-océano-atmósfera y casi a todas las actividades humanas.

Lo aquí expuesto tiene primordialmente un carácter explicativo y analítico, es decir, se exponen las causas que motivan a los eventos climáticos y se especifican sus comportamientos y propiedades. La explicación y el análisis son básicos en los estudios del clima, ya que permiten conocer y comprender las interacciones de los procesos atmosféricos. Se hace énfasis en el principio de evolución a lo largo de todo el estudio, tomando en cuenta que los procesos físicos cambian en gran medida dentro de los sistemas climáticos.

Este trabajo pudo llevarse a cabo gracias al tiempo concedido por la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, a través de los programas de actividades académicas y, asimismo, parte del material bibliográfico que se utilizó fue facilitado en la biblioteca de dicha institución.

Mi agradecimiento al Dr. Juan Carlos Gómez Rojas quien fungió como director de esta investigación, así como también a los revisores: Dra. Laura Elena Maderey Rascón, Dra. Marta Cervantes, Mtro. Víctor Martínez Luna, Mtro. Mario Mota Esquivel, Dra. Rosalía Vidal y al Dr. Delfino Madrigal Uribe. Agradezco también a María de Lourdes Lagunas Contreras por su colaboración en la edición de este trabajo. A todos ellos mi reconocimiento por su dedicación, sus sugerencias y apoyo para poder llevar a cabo el presente estudio.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PRESENTACIÓN

La historia geológica de la Tierra se ha caracterizado siempre por presentar periodos, cálidos, fríos, lluviosos, secos, ventosos, etc. Estos acontecimientos han ocurrido con diferente intensidad, magnitud y frecuencia en las diversas regiones del mundo, como consecuencia de sus peculiaridades geográficas, así como de la intervención de otros fenómenos, tanto terrestres como de origen cósmico. Las variaciones atmosféricas que han afectado al planeta son consideradas el fenómeno más constante de los patrones del clima, tanto a través del tiempo como en el espacio.

Una de las preguntas que se ha hecho el ser humano casi siempre al abordar el tema del tiempo atmosférico y el clima es: ¿las condiciones atmosféricas en un lugar o región son constantes o están variando en el transcurso del tiempo? La respuesta viene inmediatamente: los fenómenos atmosféricos, ya sea a corto, mediano o largo plazo, muestran marcadas variaciones en relación con sus valores medios aparentemente normales.

Los cambios y las fluctuaciones del clima a lo largo del tiempo pueden ser atribuidos a varios fenómenos de origen natural, como son: posiciones astronómicas de la Tierra, impacto de asteroides, nubes cósmicas, actividad solar, variación del campo magnético terrestre, erupciones volcánicas, etc. En las últimas décadas, se han tomado muy en cuenta algunas actividades humanas, como responsables del cambio climático, como son: expansión de las ciudades, deforestación, desiertos transformados por irrigación, siembra de nubes, etc.

El estudio de los cambios y las variaciones climáticas en cualquier región de la Tierra es de gran importancia para la humanidad, ya que a diferencia de otros fenómenos, los elementos atmosféricos afectan a toda la superficie terrestre. Así, los vegetales, los animales y otros componentes del medio ambiente se han creado, se han propagado por la superficie terrestre, han evolucionado y tal vez se han extinguido, estando siempre presente el dinamismo interactivo de los patrones que conforman el sistema climático.

Sin embargo, el presente estudio no contempla la interacción entre el clima y los otros fenómenos de la naturaleza, sólo pone de manifiesto la existencia de pruebas que confirman la inexorable variación de los elementos climáticos. Para esto se consultaron fuentes informativas que contemplan algunos aspectos como: avance de los glaciares, depósitos de morrenas, variaciones del nivel del océano, tipos de rocas, fósiles, dendroclimatología, iconografía, rendimiento de cosechas, obras literarias, etc.

Como es sabido, las variaciones climáticas se han presentado desde décadas hasta millones de años; no obstante, en un período relativamente corto sobre todo después de la Revolución Industrial (1780), las oscilaciones climáticas en algunas regiones han sido muy notorias, como es el caso de las zonas urbanas, pues éstas están construidas con piedra, cemento, asfalto, varilla, etc. Estos materiales absorben mucho calor, situación que las mantiene más calientes en relación con el campo rural circundante. Este efecto posiblemente sea uno de los principales argumentos que se mencionan en la actualidad sobre el Cambio Climático Global.

Las fluctuaciones climáticas y los fenómenos que las motivan son los temas centrales del presente trabajo; en él se consideran algunos tópicos referentes a cuestiones climáticas, aborda los principales eventos atmosféricos que han ocurrido en la Tierra, se exponen las principales teorías que explican las basculaciones climáticas. También, se identifican los principales períodos climáticos que han ocurrido en nuestro planeta, así como los factores terrestres y cósmicos que interactúan en las diversas manifestaciones atmosféricas y, por último, los lineamientos que conducen al efecto de invernadero.

En el primer capítulo se presentan los rubros del protocolo que coadyuvan al desarrollo de la investigación, es decir, el planteamiento del problema, que comprende los objetivos, las hipótesis, la justificación y la metodología. En los apartados se expone de manera sintética la participación y la directriz de cada uno de ellos en el ejercicio del trabajo.

En el segundo capítulo se tratan los principales aspectos teóricos y conceptuales de la Meteorología y la Climatología. Se hace énfasis en la evolución que ha experimentado la Climatología; asimismo, se destacan los factores que intervienen en las condiciones y variaciones atmosféricas. Los factores o fenómenos climáticos más relevantes son: los naturales, los antrópicos y los extraterrestres. Se analizan diferentes clasificaciones de factores y elementos del clima y se propone otra, que puede contribuir en la conducción de los estudios de esta disciplina.

En el tercer capítulo se describen las teorías que justifican las imbricaciones meteorológicas y climáticas que han acontecido en las diversas etapas de la edad de la Tierra. Los postulados de cada factor tratan de explicar parcial o totalmente los ascensos de temperatura, los procesos álgidos, los eventos húmedos y los períodos con ciertos grados de aridez. En este trabajo se considera a la mayoría de los fenómenos que intervienen en las manifestaciones atmosféricas como factores y elementos que conforman el proceso climático. En primer lugar se tratan los factores o teorías que cumplen ciertos ciclos como: la inclinación del eje de rotación de la Tierra, la variación de la excentricidad de la órbita terrestre, los momentos de los sínodos, la travesía de las nubes cósmicas, etc. Después son consideradas las teorías acíclicas, donde las vicisitudes climáticas ocurren aparentemente de manera aleatoria: impacto en la Tierra de asteroides, erupciones volcánicas, deriva continental, actividad solar, variación del campo magnético terrestre y el calor liberado del interior de la Tierra.

En el cuarto capítulo se resaltan, de manera general, los acontecimientos climáticos que han acaecido a lo largo de las eras geológicas: desde la Prepaleozoica hasta la Cenozoica; destacando a grandes rasgos lo sucedido en los períodos correspondientes a cada era. También se destacan los principales factores que han provocado los cambios y las variaciones climáticas; por ejemplo, las glaciaciones y los episodios relativamente más cálidos. En el desarrollo de la obra se van engarzando los grandes períodos climáticos, de manera progresiva, con los posibles fenómenos que los han caracterizado en el transcurso del tiempo.

El quinto capítulo exhibe los mecanismos que dan lugar al incremento del efecto invernadero". Se destaca la función del vapor de agua y el dióxido de carbono como integrantes primordiales del efecto invernadero. También se consideran las sustancias que interactúan con la capa de ozono. En este apartado se emiten algunos puntos de vista de ciertos especialistas, donde se advierten los pros y los contras que se han manejado en la actualidad sobre el efecto de invernadero.

El orden y la estructura de los capítulos fue diseñado de esta manera, tomando en cuenta que la variación es una de las principales cualidades del tiempo atmosférico y el clima, cuyos indicios más elocuentes ha sido la identificación en el transcurso del tiempo de los períodos interglaciales y los que han protagonizado las glaciaciones. Posteriormente se buscan las causas de las veleidades atmosféricas, y de esta manera se identifican con más eficacia, las de índole natural y las que podrían ser motivo por las actividades humanas.

A lo largo de este trabajo se pone en evidencia que para el estudio y la comprensión del tiempo atmosférico y el clima de una región es indispensable tomar en cuenta las condiciones geográficas y atmosféricas del territorio local, regional, planetario y los eventos provenientes del cosmos. La Climatología al ser una rama de la Geografía Física, toma como base sus principios, es decir, trata los preceptos holísticos, así como la distribución, la evolución y las relaciones mutuas de los hechos y fenómenos en el espacio geográfico.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde que el ser humano existe sobre la faz de la Tierra se ha cuestionado siempre sobre los diversos fenómenos que han provocado los cambios y variaciones climáticas que acontecen en su entorno. Por ejemplo, en la etapa primitiva los astros fueron considerados, por algunos grupos humanos, como indicadores de las manifestaciones de ciertas condiciones atmosféricas, como fue el Sol, la Luna, los planetas, las estrellas, las constelaciones y los cometas. La preocupación más importante de los diferentes pueblos del mundo ha sido que sus actividades dependen en gran medida de las variaciones atmosféricas.

A medida que ha transcurrido el tiempo y la población ha crecido, las necesidades y las actividades humanas son mayores, razón por la que es indispensable tomar en

cuenta los aspectos climáticos. El conocimiento de las variaciones climáticas y los factores que las originan permiten inferir lo que sucede en la actualidad y lo que puede acontecer en el futuro.

Se sabe que siempre han acontecido variaciones atmosféricas en la Tierra, las que se han presentado con diferente frecuencia y magnitud. Sin embargo, ha sido problemático identificar los fenómenos o factores que participan entre las interacciones climáticas. En la actualidad se han reconocido gran cantidad de factores naturales y otros provocados por el ser humano, que han estado participando en los sistemas atmosféricos a través del tiempo y del espacio, pero todavía es insuficiente la información para determinar los eventos que caracterizaron a cada período de la historia climática de la Tierra.

De esta manera, los objetivos que guían al presente estudio están estructurados de la forma siguiente.

### 1.2.1 Objetivos

#### 1.2.1.1 General:

- ◆ Identificar y ordenar los fenómenos terrestres y cósmicos que han motivado las variaciones y los cambios climáticos a través de la historia geológica de nuestro planeta.

#### 1.2.1.2 Específicos:

- ◆ Reconocer en el transcurso del tiempo de la Tierra los períodos que se han caracterizado por sus peculiares condiciones climáticas.
- ◆ Determinar el fenómeno que ha provocado la mayor parte de las variaciones climáticas en la Tierra, a corto y mediano plazos.
- ◆ Discernir entre los factores naturales y los antrópicos que puedan estar provocando las basculaciones del clima.
- ◆ Verificar la participación del "efecto invernadero" en las fluctuaciones atmosféricas en el pasado y el presente.

### 1.2.2 Hipótesis

Las explicaciones tentativas de los fenómenos estudiados son las siguientes.

- ◆ Los cambios y las variaciones del clima han ocurrido prácticamente desde que se

formó la Tierra, y las causas han sido procesos naturales, por lo que se infiere que éstos sean también los principales agentes de las fluctuaciones climáticas que se presentan en la actualidad.

- ◆ Las fluctuaciones climáticas que se han llevado a cabo en el transcurso de decenas y centenas de años, han sido provocadas básicamente por las variaciones de la actividad solar, tomando en cuenta que la fuente primordial de energía que da dinamismo al tiempo atmosférico y al clima es el Sol.
- ◆ Las variaciones climáticas también se deben al incremento de las actividades humanas en los últimos siglos; sin embargo, la interacción de éstas con los eventos naturales queda encubierta, lo que dificulta distinguir el predominio de unos y de otros.
- ◆ En la actualidad en diversos sectores de la sociedad se hace responsable primordialmente al incremento del "efecto invernadero" como causante del llamado "Calentamiento Global", no obstante, si se acepta dicho proceso, deben contemplarse también muchos otros fenómenos terrestres (ejemplo: liberación de calor del interior de la Tierra) o de origen cósmico (ejemplo: la variación de la actividad solar), que deben estar involucrados.

### 1.2.3 Justificación

El estudio de los factores y teorías que han dado lugar a las oscilaciones y cambios climáticos en la Tierra tiene gran relevancia para las diversas actividades de la humanidad. Los pueblos pudieron progresar mejor en regiones con condiciones atmosféricas favorables. Sin embargo, el ser humano no siempre se ha percatado de todos los aspectos ambientales involucrados con el clima. Desde tiempos primitivos el hombre ha tratado de conocer los elementos y las causas que motivaban los acontecimientos atmosféricos. El proceso por indagar sobre la influencia de la atmósfera y el cosmos en el clima ha sido relativamente lento.

En la actualidad muchos de los estudios climáticos solo contemplan los factores locales y regionales, como la latitud, la altitud, el relieve, la vegetación, etc., y otros explican un evento con la participación de un factor, y pocas veces se toman en cuenta los fenómenos mundiales y cósmicos. Pero todos tienen considerables repercusiones en el clima del conjunto tierra-océano-atmósfera.

A mediados del siglo XIX, comenzaron a tener auge las teorías que pueden explicar los períodos fríos y cálidos de la Tierra. En su momento, dichas aseveraciones han tenido aceptación entre los estudiosos del clima, y en otras ocasiones se han tomado con reservas, no obstante, han contribuido en el conocimiento de las basculaciones atmosféricas, y muchas de ellas son la base para comprender otros eventos, como la propagación de la vegetación en algunos períodos, la posible extinción de los dinosaurios, la aparición de la agricultura, etc.

Por otro lado, después de la Revolución Industrial, se han incrementado las técnicas para realizar las actividades humanas. El crecimiento demográfico a partir de entonces ha sido vertiginoso. Las ciudades han crecido y este acontecimiento ha provocado grandes alteraciones ambientales. Con la expansión de muchas localidades y ciudades en el mundo se han afectado las condiciones hídricas, las formas del relieve, la vegetación natural, los aspectos edáficos, los espacios agrícolas, etc. El incremento de las industrias y los automóviles ha propiciado la contaminación del aire, y al mismo tiempo, la deforestación y la erosión. Los eventos anteriores han provocado las variaciones climáticas en varias regiones de nuestro planeta. Con este dinamismo se infiere que es necesario introducir los factores que el ser humano está originando en las evaluaciones del clima.

En los años ochenta y noventa del siglo XX se le ha dado mucha importancia al incremento del efecto invernadero, como factor principal en el llamado "Cambio Climático Global". Hay que tener presente que dicho efecto es solamente un fenómeno dentro de una gama de atributos que influyen en las variaciones y cambios del clima.

A medida que han ido surgiendo las teorías que exponen las causas de las variaciones atmosféricas, éstas se han puesto de moda atrayendo la atención de muchas personas. Para algunos investigadores, los tópicos parece que explican satisfactoriamente las variaciones climáticas, para otros no tanto, pero, después han aparecido otras posturas que complementan o refutan algunos argumentos.

Por otra parte, es importante destacar que hoy en día, la mayoría de investigadores y conferencistas que abordan los temas de las variaciones climáticas, relacionan el comportamiento climático con muy pocas variables, y en algunos casos solo consideran el efecto de invernadero como causa primordial de oscilación, razón por la que las explicaciones resultan relativamente parciales. Ante esta situación, este estudio pretende aportar mayores argumentos para que de ser posible sean tomados en cuenta cuando se realicen análisis del dinamismo atmosférico.

En la actualidad los medios de comunicación y de información, cuando publican los temas referentes a las variaciones del clima, en muchas ocasiones exageran los contenidos, por ejemplo, en algunos periódicos y revistas se describen eventos climáticos con cierta magnitud de catastrofismo: severas sequías, lluvias torrenciales, grandes huracanes, drástico cambio climático mundial, etc. Si bien es cierto, estos fenómenos pueden estarse presentando con mayor frecuencia por una participación humana irreflexiva, éstos han ocurrido prácticamente en toda la historia de la Tierra, por lo que no son exclusivos del actual período de tiempo. Con la investigación se desea que la sociedad se de cuenta que el clima es recurrente y que, antes de optar por la incertidumbre, hay que conocer los eventos para aprovecharlos en beneficio de la humanidad.

El estudio puede ser útil para algunas instituciones públicas y privadas, así como para los agricultores y la sociedad en general, que llevan a cabo planificaciones en los

rubros económicos y sociales, pues al conocer más sobre las cualidades del clima, pueden organizar con mayor eficiencia sus actividades correspondientes. El conocimiento permite mayor cultura, con lo que se podrían planificar ciertas acciones a corto, mediano y largo plazo.

Todo el conjunto de factores intervienen en la distribución espacial de los climas; están presentes también en las relaciones entre los fenómenos físicos y sociales; participan de manera destacada en la evolución atmosférica; motivan ciertos efectos o consecuencias en el espacio geográfico, y sobre todo, las interacciones de los factores determinan las causas de la disposición y las variaciones de los climas. Con estos principios, el estudio del clima está inmerso en el campo de la Geografía.

En el campo de la Climatología no existen suficientes obras referentes a este tema, sobre todo en México, a pesar de que, como es sabido, su influencia se advierte en casi todas las actividades humanas. Hay en el mercado algunos textos de Agroclimatología, Climatología Urbana, Climatología Médica, etc., pero son relativamente escasos. Asimismo, es limitada la bibliografía que contempla las variaciones y los cambios climáticos a través del tiempo. En virtud de lo anterior, se considera que la investigación llevada a cabo aporta algunos lineamientos más o menos ordenados para entender tal vez, de forma más concisa, las interacciones climáticas.

*Las Variaciones Climáticas en la Tierra* es un título un tanto general, dado que el estudio considera los principales períodos geológicos, desde el Prepaleozoico hasta la actualidad, razón por lo que es importante mencionar que el factor de evolución está inmerso en el desarrollo del trabajo. Cuando existan las condiciones para ampliarlo o publicarlo, se puede abundar más ese principio geográfico.

Se desea también que este documento sea publicado, y se de a conocer de preferencia a los niveles de educación media y superior, con el propósito de que sirva de guía en los cursos escolares, y de esta manera coadyuve en la comprensión de los temas que presentan contenidos del tiempo atmosférico y el clima.

#### 1.2.4 Metodología

La investigación que se llevó a cabo tiene un carácter principalmente explicativo y analítico, es decir, se identifican las causas de los períodos climáticos en el transcurso del tiempo y se analizan algunas propiedades de los fenómenos que motivan las variaciones climáticas. Considerando lo anterior, se estructuraron las siguientes etapas de trabajo.

**Primera etapa.** Consulta bibliográfica. Se consultaron todos aquellos libros, revistas, periódicos, tesis, memorias, etc., que contienen los aspectos teóricos para explicar gran parte del desarrollo de la investigación. El trabajo tomó como premisa las fuentes

bibliográficas de diversas ramas, considerando obras de: Climatología, Climatología Histórica, Climatología Urbana, Meteorología, Geografía, Geología Histórica, Geología Física, Paleoclimatología, Historia, Literatura, etc.

Con la bibliografía de diversas disciplinas se obtuvieron los elementos necesarios y las teorías para hilvanar los tópicos que fueron dando progresión, congruencia y forma al trabajo final.

Las diferentes bibliografías tratan en ocasiones los mismos temas, pero cada autor aporta sus propias interpretaciones y hace énfasis en lo que le parece más relevante. Los diversos puntos de vista conllevan en ocasiones a posiciones similares, discrepantes o polémicas, pero en última instancia, enriquecen con sus aportes al conocimiento.

Asimismo, se pusieron en la investigación los aportes de cada uno de los autores sobre un tema específico, con la finalidad de que con sus argumentos se pudieran reforzar o rechazar algunas aseveraciones. Así, aparecen puntos de vista de los estudiosos del clima, pero también los propios, a lo largo del trabajo. Durante esta práctica la bibliografía tuvo una función preponderante.

Existe bibliografía que parece muy obvia para los propósitos de la investigación y algunas otras, como los aspectos literarios, pareciera ajena. No obstante, en las obras literarias se encuentran narrados varios acontecimientos relacionados con los climas. Las novelas podrían ser ficticias; sin embargo, como dicen los poetas Octavio Paz y Mario Vargas Llosa: en la aparente irrealidad de las novelas, existen las grandes verdades.

**Segunda etapa.** Inserción de figuras. Se consultaron algunas figuras y mapas que muestran las diferentes configuraciones continentales a través de los períodos de las eras geológicas. También en el desarrollo de la investigación se consultaron algunos otros mapas con la ubicación y distribución de algunos fenómenos en la superficie terrestre.

La superficie terrestre y los climas están en constante transformación, lo que permite a lo largo del tiempo, ir mostrando diferentes fases. De esta manera, con la exposición de diferentes figuras (en distintas etapas) se representa la evolución de los acontecimientos.

**Tercera etapa.** Cuadros y esquemas. Es recomendable que parte de la información cuantitativa o cualitativa se estructure en algunos cuadros para que se pueda interpretar con mayor facilidad. El orden adecuado de los rubros coadyuva también a llevar a cabo análisis y síntesis. Los cuadros o tablas permiten clasificar la información y mostrarla en conjunto.

Los esquemas con sus imágenes ilustran las dimensiones, la intensidad y en cierta manera, la realidad de los eventos. Reflejan en ocasiones los detalles de los aspectos que se desean dar a conocer. Por consiguiente, los esquemas son muy valiosos porque contribuyen al proceso que conduce a la razón y la verdad.

**Cuarta etapa.** Elaboración de gráficas. Las gráficas permiten visualizar el comportamiento y la tendencia que experimentan algunos fenómenos representados en el estudio.

Así, como los mapas representan los eventos en el espacio, las gráficas (para este caso) muestran generalmente la ocurrencia de los fenómenos a lo largo del tiempo. Los puntos y las líneas en las gráficas pueden mostrar el pasado, el presente y el futuro, lo que significa una gran ayuda para comprender las peripecias del clima.

**Quinta etapa.** Fotografías. El uso de fotografías es una herramienta importante en el desarrollo de una investigación, pues permite reproducir fielmente los atributos que se desean representar. La nitidez de las imágenes permite la objetividad de los fenómenos tratados, con lo que se pueden definir y explicar por sí mismos.

Las imágenes fotográficas se seleccionaron de diversas fuentes de divulgación con el objeto de que existiera pluralidad en los temas abordados. Para la reproducción se utilizó el equipo de cómputo para digitalizar los materiales.

**Sexta etapa.** Interpretación de la información. Una vez con la información ordenada y procesada se realizaron las interpretaciones correspondientes. Se pudieron separar los elementos básicos (palabras, ideas, postulados, etc.) y mediante su examen se trató de explicar las cualidades, las causas, las relaciones y otros aspectos de los fenómenos.

Con todos los tópicos clasificados y ordenados se dio coherencia lógica a los temas y a los capítulos. Se procuró que existiera congruencia y progresión en cada sector de la investigación.

**Séptima etapa.** Redacción de los resultados. Se trató de que el escrito fuera claro, comprensivo y coherente. Se pretendió también que la investigación diera respuestas a los objetivos y metas planteados, así como los alcances teóricos y problemas identificados.

Con las siete etapas anteriores se estructuró la investigación, considerando la ubicación de los fenómenos en el espacio, conociendo sus causas, así como su evolución a través del tiempo, sus conexiones y efectos entre sí mismos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Al realizar estudios referentes al clima es necesario siempre identificar aquellos términos relacionados con la orientación de la investigación para que durante el desarrollo de la misma, se puedan entender y comprender los tópicos y las directrices de la temática general.

Los conceptos que se abordan en primera instancia son los de clima y tiempo atmosférico, ya que su comprensión permite vislumbrar más eficientemente la interacción de los elementos y los factores dentro del sistema climático. Asimismo, a través del tiempo, esos conceptos se han venido modificando para dar respuesta a ciertas necesidades tanto de tipo ambiental como de carácter humano.

En primer lugar se consideró el concepto de clima, ya que este término ha tenido varias concepciones por diversos especialistas a través de la historia de la humanidad.

#### 2.1 Clima

Etimológicamente la palabra clima proviene del griego "klino" que significa inclinación (De Alemany, 1986.) "Klino", es la inclinación de los rayos solares a lo largo del año y durante un día. Así, desde la Antigüedad los griegos se dieron cuenta que la diferente inclinación de los rayos solares iba confinando diversas condiciones atmosféricas en el espacio geográfico.

El conocimiento meteorológico de los griegos se propagó a otros pueblos del Mediterráneo, entre ellos, los romanos quienes siguieron de manera parcial con la tradición cultural.

En relación con el clima el poeta romano Virgilio, en el año 19 a.C., escribe en su obra, "Las Geórgicas", lo siguiente: "el radiante Sol ha dividido el círculo que se describe en los cielos; cinco zonas abarca; una siempre ardiente quemada por los rayos del Sol, otras dos a igual distancia, cada una de la primera se extiende hasta las extremidades y no representan más que mares helados y negras escarchas; entre éstas y las del centro, otras dos, más favorecidas por los dioses, que han concedido a los míseros mortales, por las que el Sol las atraviesa oblicuamente".

Los pueblos antiguos sabían que dependiendo de la inclinación de los rayos del Sol, se presentan ciertas características atmosféricas en algunas regiones del planeta, razón por la que distingue cinco grandes zonas climáticas. Empero, esta jerarquización ya la hacía Aristóteles en el siglo IV antes de Cristo.

El conocimiento de la inclinación de los rayos solares ha sido motivo no solamente para identificar regiones climáticas, sino también para el establecimiento de las estaciones del año, y con ello establecer períodos aptos para emprender labores agrícolas, así como toda una serie de acontecimientos culturales que de manera directa o indirecta tienen conexión con el clima.

Garduño (1994), menciona: "pocos se dan cuenta que nuestro brindis de Nochebuena,..., es en última instancia en honor al Sol, celebrando el solsticio de invierno..., viéndolo bien, no es raro que religiones de diferentes lugares y eras festejen casi los mismos días del año. Imaginemos la preocupación que sentían los primeros hombres al notar que en el transcurso de medio año el Sol salía cada vez más tarde, y se metía más temprano..., es decir, su luz y calor escaseaban gradualmente. Sin embargo, este decaimiento del Sol no era permanente, en algún momento dejaba de bajar y comenzaba a recuperarse, ese momento tenía que ser memorable y ameritaba fiesta".

Sin duda, la historia de las diversas manifestaciones culturales del ser humano no se pueden explicar sin los acontecimientos climáticos, los que en muchas ocasiones han influido y dejado huella en el proceso histórico de la humanidad.

Asimismo, la noción de clima a través de los siglos ha variado siguiendo los avances de la ciencia. A principios del siglo XIX, como consecuencia del gran bagaje cultural y científico que se tenía de casi todos los fenómenos de la Tierra, se tuvo la necesidad de organizar el conocimiento en diversas áreas, y así también se dieron los lineamientos para definir al clima.

Citado por Gómez (1985), Alexander von Humboldt definió al clima como: "el conjunto de las variaciones atmosféricas que afectan nuestros órganos de manera sensible: la temperatura, la humedad, los cambios de presión barométrica, la calma de la atmósfera, los vientos, la tensión más o menos fuertes de la electricidad atmosférica, la pureza del aire o la presencia de miasmas más o menos deletéreos y, por último, el grado ordinario de transparencia o serenidad del cielo".

La definición de Humboldt resulta bastante completa, tomando en cuenta la época en que la realiza (1830), pues considera al clima como el conjunto de fenómenos atmosféricos, lo que indica que al clima hay que considerarlo con todas sus partes, y sólo así pueden comprenderse sus manifestaciones. También hay que resaltar que toma en cuenta las variaciones atmosféricas y esta cualidad es intrínseca a lo que se entiende como clima.

Se puede advertir también que Humboldt no introduce la noción de espacio en su definición; sabiendo que entre el territorio se distribuyen los climas y que dependiendo de éste se tienen diversos tipos de climas. Destaca de manera sobresaliente la influencia de los elementos climáticos como: temperatura, humedad, vientos, etc., pero no menciona la intervención de los factores que en conjunto delimitan los climas.

Por otro lado, el concepto está enfocado a la forma en que afectan esos elementos a los órganos del ser humano, y así no se toma en cuenta todavía la integración geográfica: naturaleza-ser humano.

La concepción climática propuesta por Humboldt se utilizó por varias décadas; este personaje, que fue sobre todo geógrafo, realizó estudios muy importantes al respecto. A este investigador se le ha llamado el padre de la Climatología, por esta razón su influencia intelectual predomina en la actualidad.

A principios del siglo XX, el climatólogo Julius Hann en 1908, propuso para el clima la definición siguiente: "el clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre".

La definición que da a conocer Hann contiene las palabras "estado medio de la atmósfera", entendiendo en términos estadísticos que el clima debe definirse con base en los valores medios de los fenómenos atmosféricos. Ante esta situación, debe resaltarse que no se consideran los valores extremos meteorológicos que siempre se presentan, y en ocasiones de manera extraordinaria y que deben tomarse en cuenta para definir al clima.

Por otra parte, Hann utiliza el término: "punto de la superficie terrestre"; pero en términos conceptuales geográficos, se dice que no debe admitirse esta connotación, ya que no representa al espacio geográfico, puesto que los climas no se circunscriben en puntos, sino que éstos se distribuyen en territorios bien definidos.

En 1943 el climatólogo francés Max Sorre propone otra definición de clima que dice: "el clima es la serie de estados de la atmósfera sobre un lugar en su sucesión habitual".

Este concepto es un tanto más limitado que los dos anteriores, pues habla de los estados de la atmósfera sin mencionar explícitamente qué fenómenos están involucrados, aunque en la actualidad el tópico se sobreentiende. Tampoco introduce la variable "variación atmosférica", por lo que su propuesta resulta muy estática.

Miller (1975), complementa la definición de Max Sorre, y dice: "para caracterizar el estado medio de la atmósfera o de la serie de estados de la misma en la sucesión habitual es necesario contar con datos que abarquen un considerable período; se considera que como mínimo debe comprender 35 años, lapso en el que se estima que en una estación u observatorio se han encontrado todas las condiciones meteorológicas susceptibles de ocurrir en el lugar de que se trate. De esta manera, la media de las observaciones de ese lapso puede concebirse como índice de las condiciones meteorológicas".

En los años sesenta, la Organización Meteorológica Mundial propuso que se considerara "clima normal" aquellos valores medios climatológicos obtenidos cuando menos durante un período de 30 años (Compendio de Apuntes para la Formación...,

1980). El argumento está basado en las mediciones meteorológicas llevadas a cabo de 1931 a 1960, etapa en que aparentemente no se alteraron súbitamente los fenómenos atmosféricos y el clima fue más o menos estable.

Además con las condiciones climáticas de aquellas tres décadas se impulsó la agricultura en varios países, entre ellos México, y en los años cincuenta tenía su auge lo que se llamó la "Revolución Verde", con la que se logró elevar la producción de granos en varias regiones del mundo.

El período de 30 años que se asignó para definir el clima, ha sido fuertemente criticado por varios estudiosos de la Climatología, entre ellos está el climatólogo Lamb H. (1950), citado por Bryson y Murray (1985), que dice: "el principio de que el clima es eminentemente constante (normal) está reñido con la sabiduría climatológica, ya que existen fuertes alteraciones climáticas que no se consideran cuando se define el clima medio. Sin embargo, el principio es cómodo para las operaciones prácticas que utilizan las estadísticas climatológicas para llevar a cabo planificaciones".

Lo que destaca este autor es que no puede definirse el clima normal tomando en cuenta sólo un período de 30 años, ya que a lo largo de este tiempo se presentan eventos extraordinarios, y en las evaluaciones estadísticas se encubren los valores extremos.

Otra crítica a lo que se ha llamado "clima normal", la hacen Bryson y Murray (1985), y aseveran: "la gente tiene la misma visión del clima que del mundo: sus experiencias recientes tienden a ser lo normal. Pero hay que resaltar que el período que tenía el clima normal, cambia en el momento que realizamos el promedio de los siguientes. Por ejemplo, hace algunos años, nuestro clima normal era aquel de 1931 a 1960, así que ahora es el de 1941 a 1970. Este cerrado viraje del período de referencia hace más que sugerir que la última generación humana de clima es todo lo que importa, lo normal".

Los comentarios de Bryson y Murray son bastante plausibles pues ese periodo de 30 años, obedece a una escala humana, es decir, que sólo se relaciona con lo que el ser humano pueda experimentar durante su ciclo vital.

Otros climatólogos como Maunder (1990), sugiere que el significado de clima tiene que ser modificado, y argumenta: "en los años setenta muchas personas se dieron cuenta de una serie de sucesos climáticos que tuvieron repercusiones económicas, políticas y sociales. Por ejemplo la sequía del Sahel, entre 1970 y 1975, trajo consigo hambre generalizada, y la ola de frío y la sequía de la entonces Unión Soviética, en 1972, obligó a dicho país a realizar grandes importaciones de cereales".

Maunder en sus consideraciones climáticas hace énfasis en las fluctuaciones atmosféricas que en ocasiones pueden presentarse de manera extraordinaria, motivo por el que la condición de variabilidad debe ser expresada en la definición de clima.

Los acontecimientos meteorológicos ocurridos en las últimas décadas, como las mencionadas por Maunder, son una muestra que las condiciones atmosféricas en un lugar o de una región no pueden considerarse "normales", pues muchos eventos presentan situaciones muy anómalas.

Otra definición ha sido propuesta por Oort (1986), citado por Henderson-Sellers (1990), dice: "el clima es un sistema sumamente rico en interconexiones y complejidades atmosféricas".

La definición de Oort habla de un sistema formado por un conjunto de elementos, actuando mediante interacciones unos con otros. Por otro lado, menciona las interconexiones que se presentan determinantemente entre los elementos y factores climáticos, y por último hace mención de las complejidades atmosféricas que realmente suelen representar problemas muy grandes en cuanto a la cantidad, diversidad y prevención de los sucesos atmosféricos.

Otros investigadores de la atmósfera, como Henderson y Sellers (1990), caracterizan al clima de la manera siguiente: "clima son todas las estadísticas de un estado climático determinado durante un intervalo de tiempo acordado (estaciones, décadas o más tiempo), calculadas para el mundo o posiblemente para una región seleccionada".

Estos investigadores, a diferencia de los anteriores, destacan la utilización de una herramienta muy importante para realizar evaluaciones de los fenómenos atmosféricos, que es el uso de la estadística. Pues las técnicas estadísticas permiten ordenar, clasificar e inferir sobre los datos obtenidos. También permite representar en el espacio y el tiempo las vicisitudes climáticas. Asimismo, entre otros aspectos, coadyuvan a definir comportamientos, tendencias, prevenciones, etc., de situaciones atmosféricas.

También se hace patente el tiempo para delimitar el clima, pero ya no se menciona el período de 30 ó 35 años que recomiendan otros investigadores del clima. Dice que el tiempo debe ser acordado tomando en cuenta, períodos estacionales, décadas o más tiempo.

A través de varias décadas los investigadores se han percatado que con base en las irregularidades atmosféricas que se presentan a mediano y a largo plazo, la definición de clima no puede estar sujeta a un período restringido.

A lo largo de la evolución de las definiciones anteriores sobre el clima, sobresalen algunas cualidades importantes que se mencionan a continuación, siguiendo su orden cronológico.

a) Conjunto (Humboldt, 1830).

b) Variaciones (Humboldt, 1830).

- c) Elementos climáticos (Humboldt, 1830).
- d) Estado medio (Hann, 1908).
- e) Serie de estados de la atmósfera (Sorre, 1943).
- f) Sucesión habitual (Sorre, 1943).
- g) Período de 35 años (Miller, 1975).
- h) Sistema (Oort, 1986).
- i) Interconexiones (Oort, 1986).
- j) Estadística (Henderson y Sellers, 1990).
- k) Lugar, región (casi todos consideran al espacio).

Las palabras anteriores se encuentran en cada uno de los conceptos de clima de los diversos autores, las que se pueden retomar para estructurar otra definición más acorde con las necesidades actuales.

Con los argumentos anteriores, en este trabajo se propone una definición de clima, tomando en cuenta los tópicos necesarios para este propósito. Se trata de considerar los conceptos sobre clima citados anteriormente, evaluando los elementos más relevantes para integrarlos en una definición que permita conjuntar las variables intrínsecas de los eventos climáticos.

Resulta difícil hallar una definición completa del clima ya que para comprender sus imbricaciones es necesario tomar en cuenta todos aquellos factores y elementos climáticos locales, regionales, mundiales y cósmicos. Asimismo, es difícil introducir una escala de tiempo para relacionarlo con el clima. Sin embargo, es útil disponer de un concepto para identificar los alcances y limitaciones de las manifestaciones atmosféricas, tanto en el espacio como en el tiempo.

La definición de clima que se propone en este trabajo es la siguiente:

Clima es el estudio sistémico de la interacción de los elementos (temperatura, presión, vientos, humedad, etc.) y los factores (latitud, altitud, relieve, continentalidad, fenómenos cósmicos, etc.) atmosféricos en un espacio de la Tierra, considerando una escala de tiempo suficiente (que podría ser de 10 a 30 años) para observar y medir su comportamiento medio, así como sus variaciones extremas.

Toda obra que realiza el ser humano para su beneficio obedece a las condiciones políticas, sociales, científicas y técnicas que prevalecen en su momento histórico. La concepción de clima ha evolucionado en el transcurso del tiempo, y con seguridad lo

seguirá haciendo, siguiendo ciertas necesidades ambientales y científicas que imperan en cada etapa de desarrollo cultural.

Como ya se dijo, los griegos denominaron clima a la inclinación de los rayos solares, y por varios siglos usaron esta apreciación para describir diversos tipos de climas, destacando sobre todo que las posiciones del Sol originaban las estaciones del año y los diferentes horarios del día.

En la definición se comienza con la noción de sistema, tomando en cuenta que la atmósfera, los continentes y el océano funcionan como un todo, interactuando unos con otros, así, cuando un elemento modifica su comportamiento, los demás también tienden a alterarse. Dentro del sistema tierra-océano-atmósfera también existen otros subsistemas de índole regional y local que confinan determinadas características climáticas.

Humboldt desarrolla un giro muy importante en los estudios climáticos porque utiliza datos que provienen de instrumentos meteorológicos y con la información estadística realizó evaluaciones y análisis climáticos. Los métodos estadísticos representan una herramienta primordial para cuantificar los patrones atmosféricos.

Las relaciones que existen entre los elementos y los factores climáticos es la esencia de la comprensión de los sistemas del clima. Dependiendo de la situación geográfica de cada región se distribuyen los factores del clima y, de esta manera, modifican la incidencia de los elementos climáticos. Asimismo, las conexiones explican, en gran parte, la distribución espacial de los climas.

El concepto de clima también debe considerar necesariamente la dimensión de espacio, ya que en el territorio se producen los efectos directos de la dinámica atmosférica. Es en la biosfera donde se desarrollan las actividades del ser humano, por tanto, ese espacio territorial y aéreo es el más importante desde el punto de vista climático.

Los climas varían y cambian en el transcurso del tiempo, obedeciendo a diversos fenómenos, tanto terrestres como cósmicos, es por eso que la variable tiempo cronológico debe existir en un concepto de clima. Se mencionan sus escalas de tiempo ya que hay que contemplar las variaciones climáticas mínimas y extremas. De acuerdo a lo anterior, el concepto de clima puede abarcar un período relativamente corto o un tanto más largo, no obstante, por razones de operatividad se toma en cuenta los períodos de 10 a 30 años, ya que es una escala de tiempo humana suficiente para observar y medir los acontecimientos climáticos de un espacio determinado. Además en México y en otros países, no se dispone con datos estadísticos climatológicos suficientes, por lo que en ocasiones el criterio de tiempo varía para realizar los estudios climatológicos.

La definición de clima tal vez no sea la más completa, ya que sólo se consideran las variables más sobresalientes. Hay que mencionar que para comprender el concepto

de clima es necesario introducir variables mucho más complejas que no sólo se encuentran en la Tierra, sino más allá del espacio interplanetario. No obstante, lo complejo y abundante hace inoperante un concepto, y este no es el propósito en este trabajo, pues más bien se pretende facilitar la comprensión conceptual y hacerla más útil para los usuarios.

## 2.2 Climatología

La Climatología es una rama de la Geografía Física que tiene como objeto de estudio al clima. Toma en cuenta: sus causas, su distribución en el espacio geográfico, sus relaciones con fenómenos físicos y sociales, sus cambios en el transcurso del tiempo y sus consecuencias en el territorio.

La Climatología se relaciona con diversas ciencias, como son: Física, Biología, Ecología, Oceanografía, Matemáticas, pero toma como herramienta principal a la Estadística. Esta última le apoya con toda una serie de métodos numéricos para realizar evaluaciones climatológicas, tanto en territorios como en el transcurso del tiempo.

La Climatología al pertenecer a la Geografía Física conserva para su estudio los principios que la distinguen, pero toma como premisa la distribución espacial de los climas y la evolución en el tiempo. Para ese objetivo, toma como herramientas principales la representación cartográfica y los gráficos, los que permiten darle un carácter eminentemente geográfico.

Aunque existen algunos autores como Tejeda (1991), que dice que hay que distinguir entre Climatología y Climatografía: la Climatología es el tratado de los climas, conociendo sus leyes, su dinámica y su proyección; mientras Climatografía se refiere a la descripción en cuanto a su distribución y comportamiento.

La Climatografía se concreta a las descripciones de los climas, adoptando una posición un tanto estática; pero eso no quiere decir que los juicios sean incompletos; más bien es un enfoque diferente que merece ser tratado de manera especial. Las descripciones se han usado mucho en trabajos climáticos y climatológicos, pero siempre resultan muy provechosos, ya que se conoce mucho de los climas cuando se realizan con eficiencia y profesionalismo.

Los estudios climáticos se refieren especialmente a los aspectos cualitativos de los climas. Por ejemplo: causas, efectos, tipos, variaciones, ubicaciones, distribuciones, etc., de los climas. Mientras, los trabajos climatológicos abordan las características cuantitativas, es decir, las técnicas aplicadas a los cálculos de los elementos y factores brindan ciertos índices o coeficientes que permiten cuantificar las cualidades climáticas.

Hay que resaltar que las condiciones climáticas afectan a toda la superficie terrestre;

pueden existir o no, montañas, ríos, lagos, vegetación, ciudades, etc., pero las condiciones climáticas están allí siempre presentes. Asimismo, los climas están en contacto con los fenómenos naturales y sociales. Así, las diversas actividades humanas están directa o indirectamente vinculadas con los sistemas climáticos.

Los elementos bióticos y abióticos como vegetación natural, animales, asentamientos humanos, suelos, hidrografía, etc., han tenido a lo largo del tiempo, estrecha relación con los acontecimientos climáticos. Muchos de esos organismos y fenómenos se han creado, se han distribuido por la superficie terrestre, han evolucionado, algunos se han extinguido, otros se han adaptado a nuevos ambientes, pero siempre lo han hecho con la participación de diversos eventos climáticos que han acaecido en la Tierra.

## 2.3 Ramas de la Climatología

La relación del clima con los fenómenos naturales y las actividades humanas es muy evidente; es así como la Climatología se ha dividido en diferentes ramas para su estudio como las que se exponen a continuación.

Maderey (1982), menciona que el campo de estudio de la Climatología se puede dividir en dos grandes ramas, la Climatología Física y la Climatología Aplicada. En relación con la Climatología Física dice lo siguiente.

2.3.1 Climatología Física. Es en si la Climatología pura, consiste en el análisis de las leyes y teorías físicas así como de la información meteorológica para determinar y explicar los climas tal como se presentan en la Tierra. A su vez esta parte de la Climatología se divide en Climatología Sinóptica que trata del estudio de los fenómenos que ocurren en la atmósfera a misma hora y a través de observaciones hechas simultáneamente. Tiene como fin práctico el pronóstico; Climatología Dinámica que estudia los movimientos importantes de la atmósfera, los procesos y características atmosféricas que producen tales movimientos; Climatología del Balance de energía que estudia la transferencia de energía por radiación, convección y calor latente en el sistema Tierra-atmósfera con el propósito de conocer mejor las causas de los valores observados de los elementos climáticos por un lado y por otro para tratar de predecir lo que podría suceder a los climas de la Tierra si alguna vez hubiera cambios importantes en la cantidad de energía contenida en el sistema o en las velocidades de su intercambio (Maderey, 1982).

La Climatología Física, como lo dice la autora, toma en cuenta las leyes y las teorías que analizan y explican, la distribución, las causas, las variaciones y las relaciones de los climas. Estos principios permiten conocer el pasado de los climas, sus situaciones actuales, así como puede predecirse también lo que sucederá en el futuro. Los conocimientos científicos de la Climatología Física se toman en cuenta para explicar las relaciones de los climas con algunos componentes del medio ambiente; de este campo se ocupa la Climatología Aplicada.

2.3.2 Climatología Aplicada. Consiste en la utilización, aplicación de los conocimientos de la Climatología Física para explicar otros hechos y fenómenos que ocurren en la superficie terrestre, especialmente los referentes a la vida con objeto de adoptar las medidas más adecuadas en materia de planeación (Maderey, 1982).

La Climatología Aplicada es muy amplia, por lo que se podría elaborar una investigación a detalle de cada uno de sus rubros, no obstante, para este caso solo se toman en cuenta las ramas más importantes que están en estrecha relación con las actividades humanas, como son: Agroclimatología, Climatología Médica, Climatología Urbana, Climatología Comercial, Climatología Económica, Climatología Aeronáutica, Bioclimatología, Climatología Estadística, Dendroclimatología, Paleoclimatología e Hidroclimatología.

2.3.2.1 Agroclimatología. Es la ciencia que se encarga del estudio de la influencia del clima sobre las plantas cultivadas por el hombre y la influencia recíproca de éste según su grado de desarrollo económico y cultural sobre el clima, ya sea aprovechándolo o modificándolo con fines agrícolas. Desde el punto de vista geográfico la agricultura y el clima tienen una manifestación espacial que conlleva a una interacción hombre-medio ambiente, la que permite una mejor organización y planeación de las actividades humanas. Determina de manera parcial la distribución geográfica de la vegetación y de las plantas cultivadas. También se encarga del estudio de la acción humana que puede aplicar prácticas agrícolas para los cultivos ya sea protegiéndolos, mejorándolos o introduciendo otros que sean aptos a las características climáticas reinantes en cada región y así obtener mejor organización espacial (Gómez, 1985).

El estudio del clima y su relación con las plantas agrícolas es de gran importancia, ya que la agricultura es la actividad más importante del ser humano y se practica en un 99% bajo la intemperie. Los fenómenos meteorológicos influyen en cada una de las fases y etapas del ciclo vital de los vegetales. El clima favorece o inhibe el crecimiento y desarrollo de las plantas y define la calidad y cantidad en su rendimiento final.

2.3.2.2 Climatología Médica. Es el estudio de los efectos de los elementos del clima como insolación, temperatura, precipitación, vientos, etc., sobre el binomio salud-enfermedad de una comunidad. Los elementos del clima forman parte del ambiente en que el hombre se desarrolla; sin embargo, alguno o varios elementos bajo ciertas circunstancias específicas son agentes que condicionan una determinada patología, o bien pueden ser los mecanismos de transmisión, o los elementos que pongan en contacto al agente patógeno con el huésped ( Fuentes, 1990).

La población es afectada por la manifestación de los elementos atmosféricos; existen ciertas personas que soportan muy bien los cambios de la intemperie. Las variaciones bruscas provocan trastornos desagradables aproximadamente a un tercio de la población, la que se denomina por esta razón meteorosensible. A los perjuicios ocasionados se les llama meteoropatías, y éstas se deben básicamente al aumento de

la temperatura y la disminución de la humedad atmosférica. La Climatología Médica advierte y recomienda las condiciones meteorológicas que pudieran afectar al ser humano.

**2.3.2.3 Climatología Urbana.** Es la influencia que ejercen los atributos urbanos en las manifestaciones climáticas. Las alteraciones climáticas producidas por las ciudades se pueden clasificar por su carácter hidrológico, térmico y aerodinámico. En la ciudad el hombre impermeabiliza alrededor del 50% de la superficie (calles, banquetas, techos, patios, estacionamientos, etc.), haciendo que aumente el escurrimiento superficial. Si el agua no se drenara la superficie se inundaría, y generalmente los espacios urbanos se inundan. En los centros urbanos también se altera la evapotranspiración, ésta se dificulta por el rápido escurrimiento. La superficie en la ciudad absorbe mayor cantidad de radiación solar, en comparación con las zonas rurales. Las superficies de concreto tienen una elevada capacidad térmica, con lo que confinan las llamadas "islas de calor" en las ciudades. Los edificios de las ciudades también alteran la velocidad y dirección de los vientos (Griffiths, 1985).

El crecimiento de las ciudades altera los patrones ambientales, ya sea de manera negativa o positiva. Por ejemplo, se produce un grado de malestar cuando aumenta la temperatura y disminuye la humedad. En una ciudad con edificios grandes se frena o disminuye la velocidad de los vientos, lo que motiva deficiente ventilación en los distintos espacios. La contaminación atmosférica induce a la formación de mayor nubosidad y a la concentración de las lluvias, lo que puede dar origen a la presencia de inundaciones. Pero, también un aumento de temperatura en las ciudades frías, las hace más confortables.

**2.3.2.4 Climatología Comercial.** Es la relación de los climas con diversos giros comerciales. El clima determina la elección de cultivos, también decide el lugar donde pueden cultivarse las primeras materias que la industria moderna reclama; este control climático de la producción es una de las bases del comercio mundial. El clima controla no solamente la existencia, sino también la dirección de las rutas comerciales. La dirección, la velocidad y la intensidad de los fenómenos atmosféricos también influye en las rutas comerciales (Miller, 1975).

El comercio en la actualidad es muy intenso en todo el mundo. Los productos comerciales que se elaboran en las zonas tropicales, templadas o frías, llevan a cabo su proceso, bajo ciertas normas atmosféricas. Cuando son transportados y almacenados en su lugar de destino, también es primordial advertir la manifestación del tiempo atmosférico para que no sufran alteraciones.

**2.3.2.5 Climatología Económica.** Son las previsiones climáticas a corto, mediano o largo plazo que pudieran acontecer en una región, con el propósito de administrar adecuadamente los medios de producción y con esto ahorrar tiempo y dinero. Con la

prevención de los fenómenos atmosféricos como: heladas, granizadas, sequías, inundaciones, etc., se podrían planificar mejor las actividades agrícolas, industriales y sociales. El clima les compete a los políticos, economistas, directores de empresas y medios de comunicación. Por ejemplo, algunos empresarios están dispuestos a conocer mejor la manera en que el tiempo atmosférico y el clima afectan a sus negocios. Así, deben realizar análisis climáticos para saber si un cambio dado determina beneficios o pérdidas para ciertas actividades. Es importante que los profesionales de la climatología proporcionen una orientación adecuada a los grupos que realizan previsiones económicas (Maunder, 1990).

En los planes gubernamentales donde se contemplan las acciones de las actividades económicas, es necesario realizar algunas previsiones del tiempo atmosférico. La riqueza o la pobreza de una región o un país depende en cierta manera, de la bondad de los fenómenos climáticos. Por ejemplo, cuando se combinan las temperaturas y las precipitaciones óptimas en un territorio se garantizan las buenas cosechas y, con esto, se puede elevar el nivel de vida de la población. Al contrario, a los habitantes con fenómenos climáticos adversos, les es más difícil mantener un progreso adecuado.

**2.3.2.6 Climatología Aeronáutica.** Es el estudio de las condiciones climáticas en la troposfera para optimizar las condiciones atmosféricas de las rutas de vuelo. Ante todo es importante conocer las condiciones meteorológicas para construir un aeropuerto, así como la naturaleza de la atmósfera a través de las estadísticas climatológicas para señalar los rumbos que deben seguir los aviones. En los momentos de partida es importantísimo conocer las condiciones meteorológicas en el aeropuerto, las del trayecto y las de llegada, para que no existan problemas en el despegue y el aterrizaje (Eichenberger, 1987).

Los vuelos comerciales cada vez son más numerosos entre los países del mundo. Ante las necesidades de transporte aéreo, el conocimiento del tiempo atmosférico y del clima permite planificar las rutas, los períodos de actividades, así como los sitios adecuados donde deben construirse los aeropuertos.

Los procesos físicos en la atmósfera superior son diferentes a los que ocurren en tierra; por esto se practican los radio-sondeos en varios observatorios instalados en el mundo, con el objeto de conocer las variaciones atmosféricas en altura.

**2.3.2.7 Climatología Estadística.** Es la evaluación numérica de los elementos y factores climáticos que se lleva a cabo mediante un conjunto de técnicas y métodos. Los cálculos estadísticos coadyuvan a la descripción, el análisis, la síntesis, la probabilidad, etc., de la información obtenida. Asimismo, puede conocerse el comportamiento, la variabilidad y la tendencia que experimentan los fenómenos tanto a través del tiempo como en el territorio (Henderson-Sellers, 1990).

Para hablar de climatología hay que tomar en cuenta los datos provenientes del

registro de los fenómenos meteorológicos. Con la información obtenida se realizan las operaciones necesarias para cuantificar dimensiones, frecuencias, intensidades, tendencias, correlaciones, probabilidades, etc. Con todos esos rubros ordenados y clasificados se puede realizar el análisis de los sistemas atmosféricos. La estadística representa una herramienta básica para el estudio de la climatología.

**2.3.2.8 Bioclimatología.** Es el estudio de las interacciones de la atmósfera y los organismos vivos. Esta ciencia trata de los efectos de la atmósfera sobre todos los organismos, grandes y pequeños, humanos e inhumanos, plantas y animales, así como también de los ocasionales efectos de los organismos sobre la atmósfera (Compendio de Apuntes para la Formación del Personal Meteorológico, 1980).

La Bioclimatología es una ciencia muy amplia, pues abarca a las plantas, los animales y el ser humano. Destaca el estudio de los valores mínimos, máximos y óptimos de los elementos climáticos en relación con el crecimiento, el desarrollo, el bienestar y la incomodidad de los seres vivos en el medio ambiente.

**2.3.2.9 Dendroclimatología.** Es el estudio de las condiciones climáticas en el pasado a partir del análisis del crecimiento anual experimentado por los anillos de los troncos de ciertos árboles (como las gimnospermas). Normalmente los anillos de los árboles aumentan año tras año con diferentes grados de temperatura y de humedad que se manifiestan en el ambiente. La cantidad de anillos que tiene cada árbol es la cantidad de años que tiene o tuvo de vida. Si los anillos son muy angostos indican que esos años fueron relativamente secos, pero si están más anchos el período de lluvias se considera que fue elevado. Los dendroclimatólogos estudian esas condiciones y tratan de conocer los climas del pasado (Seyfert, 1979).

La Dendroclimatología es una disciplina que contribuye a deducir las condiciones climáticas del pasado. Sin embargo, sólo se puede trabajar con períodos de decenas y centenas de años, es decir, con la longevidad a que puede llegar un árbol. Esta forma de interpretar los climas pasados no es totalmente segura, ya que se puede incurrir en errores apreciativos en algunos casos.

**2.3.2.10 Paleoclimatología.** Estudia los climas del pasado a través de las distintas eras geológicas. Debido a que obviamente no se cuenta con los registros climatológicos necesarios, se vale de ciertos índices que se encuentran en los registros históricos, biológicos (crecimiento de anillos en los árboles), geológicos (glaciares), etc. Generalmente los depósitos glaciares están asociados con climas fríos, los arrecifes de coral están relacionados con climas cálidos y las evaporitas y las dunas de arena son indicadores de climas áridos (De Alemany, 1986).

La Paleoclimatología es una rama de estudio mucho más amplia que comprende a la Dendroclimatología. Con toda su gama de técnicas se pretende llegar a resultados

mucho más completos, tratando que unas se complementen con otras. La premisa más importante para el estudio climático del pasado dice: "el conocimiento de los climas del pasado permite entender los del presente y se puede prever el futuro".

2.3.2.11 Hidroclimatología. Estudia el recurso agua en relación con los tipos de clima donde se encuentre (Moderna Enciclopedia Metódica Estudiantil, 1998).

La abundancia o escasez de los cuerpos de agua depende en gran medida de las condiciones climáticas donde se encuentran o de la fuente que los abastece. Algunos grupos humanos que han existido en nuestro planeta lograron un destacado desarrollo cultural gracias a la disposición de agua que tenían en su entorno inmediato, como fueron ríos, lagos y lagunas. Ejemplos con ese gran desarrollo cultural fueron: los mesopotámicos, los egipcios, los chinos, los hindúes, los mexicas, etc.

En relación con el recurso agua, Martínez (1999), comenta: "las aguas de los ríos y lagos tienen un volumen muy pequeño comparado con el de los océanos, pero su importancia radica en pueden sostener vida terrestre, incluidas las múltiples necesidades humanas. Estas "pequeñas cantidades" de agua se reducen más si se considera que una parte de ellas carecen de la calidad adecuada para el consumo. Por ello, las llamadas aguas dulces son un recurso natural limitado y frágil, el cual no puede reponerse fácilmente".

Así, las aguas que se encuentran en los continentes son reducidas y sus volúmenes dependen primordialmente de los regímenes de lluvias que caracterizan a cada región de la Tierra. Al conocer la variación climática de una región se puede determinar la cantidad de lluvia que puede caer en determinado período de tiempo, y de esta manera se puede aprovechar para las actividades humanas y ambientales.

Existen otras ramas mencionadas por varios investigadores en diversos textos, como la Climatología del Turismo, Social, Física, Penal, etc., pero no se profundiza en los tópicos que las sustentan. Así, se infiere la influencia climática en muchos otros procesos ambientales.

## 2.4 Espacios climáticos

Los espacios climáticos son aquellos territorios que de manera convencional pueden definirse para llevar a cabo estudios atmosféricos. Cada sitio de la superficie terrestre presenta dimensiones diferentes, así como atributos físicos y sociales muy heterogéneos, por esta razón, se podría determinar un número indefinido de áreas con características climáticas similares, sin embargo, la jerarquización no sería muy operativa. Considerando la extensión de las áreas y el nivel de detalle con que se aborden las investigaciones, los estudiosos del clima han identificado zonas macroclimáticas, mesoclimáticas y microclimáticas.

Los investigadores no se han puesto de acuerdo para definir las dimensiones territoriales de cada una de las anteriores denominaciones, pues sólo se mencionan aspectos cualitativos como zonas tropicales, de barlovento, parcelas, etc. De aquí se deduce que se trata de un espacio macroclimático, otro mesoclimático y un microclimático respectivamente. También se diferencian estos tres espacio tomando en cuenta el grado de detalle con que se realizan los estudios. Los estudios microclimáticos se realizan generalmente de manera más pormenorizada, es decir, se buscan más los detalles atmosféricos que afectan al microespacio a estudiar, sin embargo, en los espacios macroclimáticos y mesoclimáticos se llevan a cabo estudios exhaustivos, aunque no tan profundos.

Tratando de contribuir en la identificación de los espacios climáticos para llevar a cabo algunos estudios, se propone en el presente trabajo la clasificación siguiente:

### ZONAS CLIMÁTICAS

MACROCLIMÁTICAS	MESOCLIMÁTICAS	MICROCLIMÁTICAS
Ecuatoriales	Barlovento	Parcelas
Tropicales	Sotavento	Valles pequeños
Subtropicales	Valles	Gargantas
Templadas	Montañas	Un árbol
Frías	Colinas	Una habitación
Polares	Depresiones	Invernaderos

Cuadro 2.1

Elaboró: Carlos Morales Méndez

En el cuadro se pueden visualizar las tres categorías que dan idea instantánea de diferentes dimensiones espaciales. La propuesta es simbólica porque existen muchos otros territorios no considerados. El propósito es el de resaltar algunos aspectos con connotaciones atmosféricas y geográficas que permitan una diferenciación de escalas territoriales-climáticas.

Como se observa en el cuadro, las zonas macroclimáticas sólo muestran las fajas latitudinales, pero a grandes rasgos definen condiciones atmosféricas muy peculiares. Estas zonas comprenden varios grados de latitud y de longitud, por lo que sus dimensiones son de miles de kilómetros. Hay que advertir que dentro de las mismas se encuentran inmersas otras áreas climáticas con cualidades diferentes, que obedecen a una interacción de factores muy específicos, como continentes, cuencas hidrográficas, llanuras, etc.

Las zonas mesoclimáticas como es obvio son de moderadas dimensiones, destacando los factores del relieve y la altitud. Como se sabe, en las zonas ecuatoriales, tropicales, etc., existen regiones templadas y frías, y son precisamente la altitud y la orientación del relieve los principales factores que las circunscriben. Las

dimensiones de estos espacios pueden abarcar cientos y miles de kilómetros cuadrados.

Las zonas microclimáticas son las más pequeñas, y éstas se encuentran en cualquier lugar de la superficie terrestre. Un agujero de hormigas o un pequeño montículo presentan condiciones de temperatura y de humedad propias, situación que permite ubicarlas en el esquema microclimático.

Todas estas zonas han experimentado a través del tiempo variaciones y cambios climáticos, sin embargo, desde que el ser humano apareció sobre la Tierra, muchos espacios se han modificado o transformado. Las áreas más afectadas han sido las micro y mesoclimáticas.

## 2.5 Tiempo atmosférico

Así como la concepción de clima tiene múltiples variables que conforman sus manifestaciones, de la misma manera, lo que se conoce como tiempo atmosférico ha tenido diferentes puntos de vista por varios estudiosos a través del tiempo.

Desde la Antigüedad hasta la Edad Media en Europa, prácticamente todo lo que estaba relacionado con lo que hoy se conoce como tiempo atmosférico eran todos aquellos fenómenos que se observaban en la bóveda celeste y en la atmósfera de la Tierra.

El movimiento de las constelaciones, el Sol y los planetas tuvieron gran participación en la apreciación del tiempo atmosférico y el clima. Por ejemplo de la observación de la constelación del Can Mayor se derivó el nombre de canícula, que se relacionó con el aumento de la temperatura durante el verano y la con la disminución o escasez de las lluvias por esos meses.

El romano Horacio Flaco, en el año 30 a. de C., hace mención de la canícula en su obra poética llamada "Odas y Epodos" y dice: "aquí en un valle apartado sentirás los ardores de la canícula y, acompañándote con la lira de Teos, cantarás a Penélope... y así la hora implacable de la bochornosa canícula no sabrá tocarte".

López (1990), menciona que en los antiguos pueblos del Mediterráneo se creía que los dioses castigaban a los humanos por medio de los terribles calores de la canícula. Los tormentos se aplicaban a todos aquellos que cometían actos delictivos.

Otro poeta latino que se dedicó a relacionar el tiempo atmosférico con las actividades humanas fue Virgilio, quien en el año 19 a. de C., en su obra: "Las Geórgicas y las Bucólicas", hace mención de las condiciones atmosféricas con relación a la agricultura y menciona lo siguiente: "a pesar de lo incierto del cielo, aprendemos a conocer las estaciones, a distinguir la época de la siembra y de la siega".

Para los romanos de la época de Virgilio, el tiempo atmosférico eran muchos fenómenos que se observaban en el cielo (nublados, despejados, constelaciones, auroras polares, etc.) razón por la que este término estuvo identificado con el conjunto de condiciones meteorológicas y astronómicas que imperaban en un lugar determinado.

Después del Renacimiento europeo, con los viajes y los consecuentes descubrimientos geográficos, los viajeros se dieron cuenta de las grandes variaciones de las condiciones meteorológicas de un espacio a otro, a lo largo del día y en el transcurso de las estaciones. De ahí surgió también la preocupación de observar y medir con mayor detalle los elementos atmosféricos.

Con la invención y la perfección de los instrumentos meteorológicos se pudieron tener datos mucho más confiables de las condiciones del tiempo atmosférico, con lo que avanzaron los trabajos meteorológicos y climatológicos.

Durand-Dastés (1982), afirma: "la importancia del tiempo atmosférico surge ante la necesidad de tener conocimiento atmosférico rápido y de conjunto, para atender los transportes aéreos y las comunicaciones por enlaces hertzianos y los pronósticos del tiempo para planificar actividades humanas".

Así, a finales del siglo XIX, cuando ya se contaba con una red de telégrafos y transporte mecanizado, sobre todo en Europa, se continúa de manera más rápida y eficiente el conocimiento de los fenómenos atmosféricos.

En las últimas décadas del siglo XIX y principios del XX existió un período en el que todavía no se hacía la distinción entre el quehacer del estudio del clima y del tiempo atmosférico. No obstante, continuaron avanzando los conocimientos meteorológicos que se acentuaron después de la Segunda Guerra Mundial con los trabajos basados en la estructura de la atmósfera, por Rossby en 1947. Las corrientes de chorro son estudiadas por Namias en 1951.

Entre las aportaciones teóricas hay que destacar los trabajos de la escuela noruega de Bergen, bajo la dirección de Bjerknes. Solberg en 1948 descubre los frentes polares. Estos son algunos ejemplos de los avances en el conocimiento de la ciencia de la Meteorología.

La nueva concepción que se tuvo con los estudios atmosféricos, brinda un panorama de una atmósfera muy dinámica y heterogénea que requiere de representaciones sinópticas.

Las observaciones sinópticas son el conjunto de condiciones meteorológicas que se presentan simultáneamente en un lugar de la superficie terrestre. De los análisis meteorológicos se determina el estado del tiempo atmosférico y los pronósticos correspondientes.

Vernor (1955), define el tiempo atmosférico de la manera siguiente: "es la suma total de las condiciones atmosféricas de un lugar, para un período corto de tiempo, y constituye el estado atmosférico momentáneo".

Vernor considera la suma total de las condiciones atmosféricas como todos los elementos climáticos que intervienen en el momento que se realiza la observación, tomando en cuenta: temperatura, presión, viento, humedad, nubosidad, precipitación, punto de rocío, visibilidad, etc.

Se ha convenido que el tiempo atmosférico, en cuanto a su duración, abarca desde algunos minutos hasta unas cuatro semanas, período en el que, por ejemplo, puede durar una tormenta o puede quedar estacionada una masa de aire o desarrollarse un ciclón tropical.

La característica del tiempo atmosférico es su variación constante en corto plazo, es decir, en cada momento pueden estar basculando las condiciones atmosféricas. Algunos observatorios meteorológicos y estaciones meteorológicas llevan a cabo mediciones del estado del tiempo atmosférico cada hora, lo que permite seguir la evolución de la manifestación de los elementos atmosféricos.

Gómez (1989), comenta: "el tiempo atmosférico se pronostica (corto plazo), el clima se conoce después de muchos años; el tiempo atmosférico es temporal, el clima es espacial". Esta aseveración permite diferenciar la función primordial de las dos connotaciones.

Existen algunos problemas en la utilización del término tiempo atmosférico, pues de principio presenta dos connotaciones: una de tiempo cronológico y la otra, de tiempo atmosférico. Ante esta situación algunos investigadores sugieren cambiarle el nombre.

Garduño (1990), dice que algunos estudiosos del clima opinan que en el idioma español no existe una palabra que defina satisfactoriamente al tiempo atmosférico, pero él dice que la palabra mejor empleada debería ser "temperie", que de manera común también se usa como sinónimo de tiempo atmosférico.

La palabra "temperie" proviene del latín y su significado etimológico es el grado de calor o de humedad en la atmósfera.

El vocablo involucra los dos elementos más importantes para definir el tiempo atmosférico y el clima. Prácticamente de ambos se derivan los demás elementos atmosféricos, razón por la que la palabra temperie reúne las cualidades para ser usada en sustitución del término tiempo atmosférico.

La temperie significa calor y éste es el detonador que hace modificar los demás elementos atmosféricos: el calor modifica la presión atmosférica, ésta a los vientos y éstos se relacionan con la humedad. El grado de humedad conlleva a procesos de condensación y sublimación que posteriormente pueden dar origen a las lluvias.

En los países de habla inglesa se tiene la palabra weather para definir al tiempo atmosférico; en Alemania se usa la palabra das wetter; en Japón acostumbran el vocablo "tenkoo" para el mismo propósito. En los países donde se habla español se debe adoptar una terminología meteorológica que contenga fundamentos epistemológicos para tratar con mayor propiedad las variables del argot atmosférico.

Las palabras temperie y tiempo atmosférico son sinónimos, pues ambos significan condiciones físicas que se desarrollan en el medio ambiente. Sin embargo, sería conveniente utilizar el término temperie para evitar algunas confusiones en la interpretación atmosférica.

A lo largo de la historia de la humanidad, para ciertas actividades, se ha considerado mal tiempo a todas aquellas condiciones atmosféricas que engendran generalmente elevada nubosidad, vientos fuertes y lluvias torrenciales. El término fue empleado sobre todo entre los navegantes marinos, cuyas embarcaciones eran dañadas por algunos hidrometeoros. No obstante, para muchos campesinos, ganaderos, etc., las lluvias impetuosas pueden significar un prodigio de la naturaleza, razón por la que pueden interpretar esas manifestaciones atmosféricas como indicio de buen tiempo. Así, se deduce que el tiempo malo o bueno es una apreciación relativa del ser humano, pues dependerá de los efectos positivos o negativos en el ambiente.

Como se sabe, el estudio del tiempo atmosférico corresponde a la Meteorología. La palabra meteorología se deriva de las raíces griegas meteoros, que es cualquier fenómeno atmosférico, y logos, tratado. Meteorología es la ciencia que se deriva de la Geofísica, la cual estudia los fenómenos que suceden en la atmósfera; da a conocer sus leyes, su dinámica y su previsión.

Maderey (1982), argumenta que a corto plazo, el tiempo atmosférico condiciona, entre otras cosas, la seguridad de los medios de transporte, la dispersión o estancamiento de los contaminantes atmosféricos, y a largo plazo, el clima es que determina la vegetación natural y el que una región sea o no habitable.

La investigadora concluye diciendo que para conocer los tipos de tiempo atmosférico y de clima es necesario el registro sistemático de los elementos y conocer la influencia que ejercen en ellos los factores. Asimismo, hay que entender los distintos tipos de tiempo meteorológico que dan lugar al clima.

## 2.6 Concepciones de variación y cambio climático

Una de las características más evidentes del clima, tanto en el transcurso del tiempo como en su distribución espacial, es su variación y su cambio. García citado por Garduño (1990), dice: "lo único constante del clima es su variabilidad". Esta aparente paradoja del clima señala sus cualidades volubles.

Las variaciones climáticas ocurren a lo largo de lustros, décadas y cientos de años. Es sabido que casi nunca el clima repite las mismas características en el transcurso del tiempo, pero acontecen eventos muy semejantes a los que ya se habían presentado en determinado lugar, razón por la que Bryson y Murray (1985), aseveran que tiene un carácter recurrente.

Gribbin (1985), argumenta que hay que distinguir entre variaciones climáticas y cambios climáticos. Las variaciones son aquellas fluctuaciones atmosféricas que se llevan a cabo de manera evidente durante lustros, décadas o cientos de años. En tanto, los cambios climáticos se realizan a través de miles o millones de años.

Para Gribbin las variaciones o fluctuaciones no marcan tendencias definitivas del clima, sino que éste oscila mediante valores ascendentes o decrecientes pero manteniéndose con relación a su media durante lustros o décadas.

Gribbin menciona que el cambio climático significa sustituir una manifestación atmosférica por otra, con sus propiedades parciales o totalmente distintas. Por ejemplo, la sustitución de un clima tropical lluvioso por un seco estepario o viceversa. Estos cambios han ocurrido en la historia geológica de la Tierra, pero se han presentado generalmente durante miles y millones de años, como se verá en los capítulos posteriores de este trabajo.

En el presente trabajo se consideran a las variaciones climáticas como aquellas oscilaciones que presenta el clima con relación a sus valores medios, es decir, se trata básicamente de tiempos atmosféricos recurrentes.

El concepto de variación tiene como sinónimos las palabras: fluctuación, basculación y oscilación. De acuerdo al diccionario de la lengua española, estos términos tienen un significado muy similar; y se utilizan en el presente estudio para dar versatilidad y fluidez al desarrollo del mismo.

Con el término "cambio climático" se hace referencia a aquellas condiciones atmosféricas que se han transformado por la intervención de ciertos fenómenos, lo que ha motivado a nuevos escenarios climáticos en ciertas regiones de la Tierra.

Las alteraciones del tiempo atmosférico y del clima en cualquier lugar de la superficie terrestre, pueden ser en ocasiones de gran magnitud, como pueden ser sequías, heladas, nevadas, huracanes, etc. Cuando un evento atmosférico ocurre de manera extraordinaria, considerando un déficit o un superávit con respecto a su valor medio, se dice que se presentó una anomalía atmosférica. Sin embargo, no representa un cambio meteorológico o climático, solamente una manifestación poco común, que después tiende a sus situaciones casi normales.

## 2.7 Elementos y factores climáticos

Para el estudio de las condiciones climáticas de cualquier lugar de la superficie terrestre se toma en cuenta la interacción de los elementos y factores climáticos.

2.7.1 Elementos. El Vocabulario Meteorológico Mundial menciona que un elemento climático es: "toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado físico del clima en un lugar determinado, para un momento dado".

Los elementos representan cualidades físicas que normalmente se gestan, evolucionan y se disipan en la atmósfera; como: la temperatura, la presión atmosférica, el viento y la humedad.

Los elementos son las propiedades físicas de la atmósfera que son modificadas por la presencia de los factores en un espacio determinado. Por ejemplo, la temperatura modifica sus valores con la latitud, la altitud, la continentalidad, etc., lo que refleja diversas situaciones climáticas.

2.7.2 Factores. Los factores son aquellas características físicas que se encuentran distribuidas sobre la superficie terrestre, como: la latitud, la altitud, el relieve, la continentalidad, las corrientes marinas, la vegetación, etc.

Los factores climáticos son agentes que producen o modifican el comportamiento de los elementos, dando como consecuencia distintos tipos de climas en cada región del planeta.

Para explicar la distribución y la variabilidad de los climas se tiene que tomar en cuenta la interacción de los elementos y factores ya mencionados. Empero, para tener un panorama más amplio sobre la influencia de otros factores que participan las imbricaciones climáticas de la Tierra, se tiene que considerar algunos fenómenos cósmicos, como son: nubes de polvo intergaláctico, impacto de meteoritos, radiación solar, etc., los que son estudiados en el capítulo III.

A continuación se exponen algunas clasificaciones de los elementos y factores propuestas por estudiosos del clima. La propuesta que da cada autor es con el propósito de identificar a los agentes que integran el sistema atmosférico, así como para comprender sus relaciones mutuas.

Vernor y Trewartha en 1943, estructuran una clasificación de los factores y elementos del clima, y la ordenan de la manera siguiente:

## FACTORES Y ELEMENTOS CLIMÁTICOS

FACTORES	ELEMENTOS
a) Insolación	a) Temperatura
b) Latitud	b) Precipitación
c) Continentalidad	c) Humedad
d) Masas de aire	d) Viento
e) Barreras montañosas	e) Nubosidad
f) Centros temporales de altas y bajas presiones	f) Presión
g) Corrientes oceánicas	

Cuadro 2.2.

Fuente: Vernor y Trewartha, 1943.

Los factores presentados en el cuadro actúan alterando el desarrollo de los elementos. Por ejemplo, si se toma la insolación como factor, de su magnitud y de su intensidad dependerán las variaciones de temperatura, presión, viento, humedad y precipitación. Todos estos elementos se verán afectados por la latitud, altitud, continentalidad, etc.

Sin embargo, de acuerdo al criterio anterior, los elementos también pueden controlar o modificar a los llamados factores; ejemplo, la nubosidad dificulta parcial o totalmente los registros de insolación; la temperatura modifica la naturaleza de las masas de aire; la presión y los vientos alteran el curso de las corrientes marinas. Incluso, a través de cientos o miles de años, la humedad, el viento y la precipitación modifican al relieve y a la continentalidad mediante procesos erosivos.

Los centros semipermanentes de alta y baja presión pueden afectar a los elementos mencionados, pero éstos al mismo tiempo pueden alterar el comportamiento de dichos centros. Las variaciones de temperatura y de presión en las zonas adyacentes desplazan y modifican a las áreas semipermanentes de alta y baja presión. Ejemplo, el centro semipermanente de alta presión Bermudas-Azores, se recorre generalmente hacia el norte o hacia el sur, y modifica sus dimensiones, de acuerdo a la temperatura que prevalece en las estaciones del año. Además en esta clasificación se consideran como factores a los centros temporales de altas y bajas presiones, fenómenos que por su origen atmosférico deben colocarse como elementos.

La propuesta de Vernor y Trewartha es importante porque aporta gran cantidad de fenómenos que, mediante una correlación entre factores y elementos, explican en gran medida las situaciones del tiempo atmosférico y el clima. No obstante, con los avances del conocimiento sobre el clima, falta a la clasificación, algunos otros fenómenos que se abordarán más adelante.

En la lista de factores, los autores no toman en cuenta la altitud del relieve, que como es bien conocido, este hecho geográfico representa una función sobresaliente para confinar los estados del tiempo y las condiciones climáticas.

Sin embargo, la clasificación contiene los principios básicos para emprender estudios climáticos y también representa un esfuerzo importante al dar a conocer una síntesis de los fenómenos que integran el conjunto atmosférico.

Vivó en 1960, da a conocer en su obra de Geografía Física una clasificación de los elementos y factores del clima. La propuesta muestra un orden diferente a la anterior.

### ELEMENTOS Y FACTORES CLIMÁTICOS

ELEMENTOS	FACTORES
(Termodinámicos)	(Cósmico)
a) Temperatura	a) Insolación
b) Presión	
c) Vientos	(Geográficos)
	b) Latitud
(Acuosos)	c) Distribución de tierras y aguas
d) Humedad	d) Corrientes marinas
e) Nubosidad	e) Altitud del relieve
f) Precipitación	f) Vegetación

Cuadro: 2.3

Fuente: Vivó, A. Jorge, 1980.

Desde un particular punto de vista, Vivó ordena de manera progresiva y obvia los elementos climáticos; pues parte de la temperatura y, dependiendo de las variaciones de ésta, se ponen en movimiento los demás, conduciendo al dinamismo de la troposfera.

La temperatura constituye el elemento neurálgico del sistema climático; por ejemplo, un valor elevado de temperatura conlleva a una baja presión, ésta atrae con mayor fuerza los vientos, estos flujos pueden transportar mayor humedad y después puede presentarse la precipitación.

Vivó menciona que la temperatura, la presión y los vientos son elementos termodinámicos. Esto se debe a que el calor da origen a otras formas dinámicas como es la humedad, nubosidad y precipitación, tomando en cuenta que éstos comprenden las tres formas del estado físico del agua.

Los factores climáticos que contiene la clasificación también conservan un orden jerárquico, es decir, se comienza con la insolación, que motiva en gran parte los estados atmosféricos.

Vivó argumenta que, de acuerdo a la insolación, variará el clima en determinada latitud, altitud, etc. Pero ya se dijo en la clasificación de Vernor y Trewartha que también la insolación depende de otros factores y elementos, por tanto, la insolación podría quedar dentro del grupo de los elementos; es verdad que proviene como

energía calorífica fuera de la Tierra, pero al entrar en contacto con la atmósfera de la Tierra inmediatamente se convierte en un meteoro que se agrega a los demás elementos.

Es importante resaltar que en esta propuesta ya se menciona a un factor cósmico, como un agente que está fuera de la Tierra, pero que tiene relación directa con los climas de ésta. Así, la energía solar es el factor más importante en el exterior de la atmósfera, y como insolación también es el elemento básico en el orden jerárquico.

El doctor Vivó también destaca la influencia de la altitud del terreno en el clima, pero no hace mención de la orientación del relieve. Este factor es elemental en ciertas regiones; por ejemplo, define: zonas de barlovento y sotavento, zonas de umbría y solana. Dichas zonas conforman características climáticas muy peculiares.

En esta clasificación no sólo se observa un orden progresivo de cada uno de los agentes, sino también la división en cuatro grupos con una designación específica. La propuesta de Vivó representa un aporte primordial dentro del campo de estudio de la Climatología.

García (1967), publica en un texto titulado "Apuntes de Climatología", los elementos y factores que conforman al tiempo atmosférico y el clima. Su aportación es la siguiente:

#### ELEMENTOS Y FACTORES CLIMÁTICOS

ELEMENTOS	FACTORES
a) Temperatura	a) Latitud
b) Presión atmosférica	b) Altitud
c) Vientos	c) Relieve
d) Humedad	d) Distribución de tierras y aguas
e) Precipitación	e) Corrientes marinas

Cuadro: 2.4

Fuente: García, Enriqueta, 1967.

García, no considera al agente insolación en ninguno de los dos grupos. Pero menciona su importancia en el texto respectivo, destacando sus variaciones a lo largo del día y del año, así como su distribución en la superficie terrestre. Destaca que el comportamiento de la insolación conduce al calentamiento de la atmósfera, y de esta manera se puede llegar a medir su grado de calor. El calentamiento del sistema tierra-oceano-atmósfera, puede medirse por medio de rangos de temperatura. De esta manera, la insolación queda incluida, y sólo se menciona a la temperatura como indicador de calor.

García, no explica de manera explícita la función de cada uno de los elementos y los factores, pero los desarrolla teóricamente en el texto.

También se observa un orden progresivo en los elementos y los factores, partiendo de su origen (temperatura) hasta llegar a sus consecuencias (humedad, nubosidad, lluvias, etc.).

En el grupo de factores no aparece la vegetación como agente modificador del clima, pues la autora se concreta a enlistar sólo los más importantes dentro del ámbito terrestre. No obstante, con el avance actual en el conocimiento meteorológico y climático, se han estado incorporando otros elementos y factores, los que se mencionarán más adelante.

La investigadora realiza un buen intento para organizar los elementos y factores climáticos y así darlos a conocer a todos aquellos que se interesan por los estudios en esta ciencia. Para los cursos de la enseñanza media superior y superior que contemplan los aspectos atmosféricos, la propuesta aquí expuesta representa una ayuda significativa para identificar los diversos componentes del clima.

Para estudiar y comprender de manera más amplia las variables atmosféricas, es necesario conocer los elementos y los factores dentro de espacios locales, regionales, planetarios y cósmicos. En la actualidad, a pesar del progreso en la ciencia, todavía no se identifica plenamente los elementos y factores del tiempo atmosférico y el clima. En determinados momentos tampoco se sabe la magnitud, frecuencia e intensidad en que participan cada uno de los fenómenos.

## 2.8 Clasificación de elementos y factores del clima

En la presente investigación se propone una clasificación de los elementos y factores climáticos que coadyuve en la identificación, comprensión y dinamismo atmosférico. Asimismo, se desea colaborar para conocer mejor la distribución, las variaciones y los cambios climáticos en la Tierra.

En las clasificaciones expuestas anteriormente se muestra la mayor parte de los agentes que explican los sistemas atmosféricos. Pero para comprender muchas situaciones atmosféricas es necesario buscar mayor cantidad de factores y elementos que brinden mayores perspectivas de estudio.

En la actualidad todavía existen grandes problemas para pronosticar el tiempo atmosférico y el clima, pues en ocasiones sólo se acierta hasta en un 80%. La dificultad se deriva, en gran medida, de la enorme cantidad de variables que están involucradas en los eventos atmosféricos. De esta manera, para determinar con mayor acierto dichos acontecimientos en un lugar y en un momento dado, es recomendable tomar en cuenta las características geográficas y atmosféricas locales, regionales y mundiales, así como fenómenos que se encuentran más allá de los confines de la atmósfera.

El intento de los investigadores por tratar de simular y de pronosticar los procesos atmosféricos es muy respetable, pues emplean mucho tiempo y recursos económicos en esos trabajos. Los logros son poco fructíferos, persistiendo en ocasiones más errores que aciertos. Muchos de los modelos climáticos diseñados en diferentes instituciones en el mundo presentan graves deficiencias en sus pronósticos. Esto, se debe en gran parte, a que no se eligen las variables correctas, o son tan escasas que no pueden reproducir las condiciones atmosféricas reales. Los pronósticos climáticos se realizan generalmente con períodos de 25, 50 y 100 años ; tiempos relativamente grandes, en que es poco posible presenciarlos y cuestionarlos, en la escala de tiempo humana.

Existen factores terrestres y extraterrestres que es necesario incorporar al conjunto climático, pues la atmósfera de este planeta es afectada frecuentemente por sus dinamismo físico, así como por algunos eventos que ocurren en el espacio cósmico.

Como ya se vio, desde la Antigüedad diversos pueblos del mundo han relacionado los componentes del cosmos con las situaciones atmosféricas. Se hablaba de la influencia del cielo: Sol, Luna, planetas, cometas, meteoritos, estrellas, constelaciones, etc., para explicar las condiciones del tiempo y del clima.

La Tierra forma parte del universo, se comporta como un todo; cada una de sus partes presenta conexiones y procesos desempeñando funciones específicas dentro del conjunto. El tiempo atmosférico y el clima funcionan obedeciendo esos principios.

La atmósfera de la Tierra es también el vínculo de ésta con el espacio interestelar. La atmósfera recibe tanto influencias terrestres como del espacio interplanetario y del cosmos. Por consiguiente, parte del dinamismo que ocurre más allá de la atmósfera terrestre también tiene sus repercusiones en las condiciones atmosféricas de ésta.

Con base en lo mencionado se pueden identificar y agrupar los elementos y los factores de la manera siguiente:

## ELEMENTOS Y FACTORES CLIMÁTICOS

<b>ELEMENTOS</b>	<b>FACTORES GEOGRÁFICOS</b>
a) Insolación	a) Latitud
b) Temperatura	b) Altitud
c) Presión atmosférica	c) Relieve (orientación)
d) Viento	d) Continentalidad
e) Humedad atmosférica	e) Corrientes marinas
f) Evaporación	f) Vegetación
g) Nubosidad	h) Suelo (naturaleza)
h) Precipitación	
<b>FACTORES ANTRÓPICOS</b>	<b>FACTORES EXTRATERRESTRES</b>
a) Deforestación	a) Excentricidad de la órbita de la Tierra
b) Erosión	b) Inclinación del eje terrestre
c) Materiales urbanos	c) Actividad solar
d) Contaminación del aire	d) Impacto de asteroides
e) Deterioro de acuíferos	e) Nubes de polvo cósmico
f) Irrigación en desiertos	f) Influencia de los sínodos
g) Siembra de nubes	
h) Invierno nuclear	
<b>FACTORES TERRESTRES</b>	
a) Erupciones volcánicas	
b) Tectónica de placas	
c) Deriva continental	
d) Campo magnético de la Tierra	
e) Ventilación hidrotermales	
f) Efecto de invernadero (incremento de gases)	

Cuadro: 2.5

Elaboró: Carlos Morales Méndez

En la propuesta se advierte que predominan los factores; esto es evidente ya que las variaciones y los cambios de los elementos se derivan de un elevado número de eventos que en ocasiones es difícil identificar los que están actuando para definir las situaciones atmosféricas en un período determinado y en un espacio dado.

Con la inclusión de mayor número de factores se pretende contribuir también con más opciones para llevar a cabo estudios climáticos y climatológicos. Hay que advertir que todavía pueden existir muchos otros factores no incluidos en esta propuesta, que pueden estar involucrados en el comportamiento de los eventos atmosféricos.

A continuación se contemplan algunas características de los factores geográficos y antrópicos, no se tratan con mucha profundidad porque no es el objetivo del trabajo, pero se toman en cuenta como parte importante de los componentes del conjunto atmosférico.

Es importante destacar que aunque en la clasificación anterior se agrupan los factores como geográficos, antrópicos, astronómicos y terrestres, se hace con el propósito para diferenciar unos de otros. Sin embargo, al relacionarlos con los procesos atmosféricos, serán factores climáticos.

En este trabajo se abordan primordialmente los tópicos que explican algunas características de factores, considerando que éstos son los protagonistas más importantes en el presente trabajo. La exposición es la siguiente.

## 2.9 Factores geográficos

Los factores geográficos más relevantes son la latitud, la altitud, el relieve, la continentalidad, las corrientes marinas, la vegetación y el suelo. Para mostrar la relación entre los factores y los elementos del clima, se expone un grupo de cuadros cuyos datos han sido proporcionados por diversos autores a través de estudios que provienen principalmente de la primera mitad del siglo XX. Posteriormente, en el año de 1960, Jorge A. Vivó, retoma dicha información para explicar algunos temas de tipo climático. Aunque los datos y los autores considerados en este rubro pertenecen a varias décadas del pasado, las aportaciones son fehacientes en la actualidad, y seguirán siendo importantes en el futuro, ya que contienen los atributos básicos para llevar a cabo algunos estudios de índole atmosférica.

2.9.1 Latitud. Es la distancia medida en grados, a partir del ecuador geográfico hacia los polos. La latitud es un factor muy importante en la distribución de los climas en la superficie terrestre pues, de manera general, a medida que aumentan sus valores hacia los polos va describiendo grandes fajas climáticas alrededor del planeta, desde las cálidas, pasando por las templadas hasta llegar a las frías.

El siguiente cuadro muestra la influencia de la latitud con algunos elementos climáticos.

### LATITUD Y ALGUNOS ELEMENTOS DEL CLIMA

LATITUD	TEMP. °C	PRESIÓN (MB)	NUBOSIDAD (%)	PRECIP. (mm)
80° N	-16.7	1013.9	-	350
60° N	-10.0	1011.5	61	480
40° N	14.0	1015.9	49	530
20° N	25.2	1012.1	40	820
0°	26.3	1010.5	58	1950
20° S	23.0	1015.5	48	750
40° S	12.0	1013.9	56	940
60° S	-0.7	991.1	75	1020

Cuadro: 2.6

Fuente: E. de Martonne, según Spitaler y Batchelder, Ferrel, Murray, Hann y otros; citado por Vivó (1960).

En el cuadro anterior se puede apreciar que la latitud influye directamente en el comportamiento de la temperatura, la presión, la nubosidad y la precipitación.

Las latitudes entre 0° y los 20° registran los valores de temperatura más elevados, como consecuencia de la menor inclinación de los rayos solares en esas franjas del planeta; mientras que de los 60° a los 80° norte, los registros térmicos descienden por abajo de los 0°C. Para los 60° en el hemisferio sur, las temperaturas también son bajas, pero mucho más elevadas que las del hemisferio norte. Como es sabido, la mayor oceanidad en el hemisferio sur crea las condiciones de un termostato, lo que conlleva a cierta homogeneidad térmica a lo largo del año.

Las presiones atmosféricas también están íntimamente relacionadas con la temperatura, que a su vez depende en gran parte de la latitud. Los valores más bajos de presión corresponden a las zonas ecuatoriales y aproximadamente a los 60° de latitud norte y sur. Las presiones más elevadas ocurren alrededor de los 30° norte y sur en aquellas zonas de subsidencias que dan origen a los vientos alisios y a los vientos del Oeste. Cerca de los polos las presiones son también elevadas, esto se observa mejor en el polo norte, mientras que a los 60° del polo sur la zona frontal permite la más baja presión atmosférica.

La nubosidad también se forma en gran relación con la latitud, ocurriendo los valores más elevados en las zonas tropicales y a los 60° norte y sur. Sin embargo, a esa latitud en el hemisferio sur tiende a aumentar; esto puede explicarse como consecuencia de la mayor superficie de agua oceánica en esas franjas.

Las precipitaciones están ligadas a la nubosidad, en términos generales, a mayor cantidad de nubes son más elevadas las precipitaciones y viceversa. Esta relación se observa en el cuadro anterior. Sin embargo, a los 60° de latitud norte, esa relación no se observa; esto se puede deber a que a esa latitud la humedad es elevada pero no se presenta gran condensación, como consecuencia de la mayor continentalidad y la disposición de algunas montañas que actúan como barreras meteorológicas.

La latitud como ya se dijo, es un factor climático importante, ya que a medida que aumenta hacia los polos va configurando diversos patrones atmosféricos.

2.9.2 Altitud. Es la altura de un lugar que se mide desde el nivel medio del mar. La altitud del relieve tiene gran relevancia en la distribución de los climas. La conexión entre la altitud y los diversos elementos climáticos es mucho más patente en las zonas ecuatoriales y tropicales, donde a medida que se asciende, los climas cambian de manera significativa.

A continuación se expone el cuadro que muestra la relación entre la altitud y otros elementos del clima.

**ALTITUD Y ALGUNOS ELEMENTOS DEL CLIMA**

ALTITUD	TEMP.	PRESIÓN	VIENTOS	HUMEDAD	PRECIP.
Baja	Alta	Alta	De montaña	Menor	Menor
Elevada	Baja	Baja	De valle	Menor	Mayor

Cuadro: 2.7

Fuente: E. de Martonne, citado por Vivó (1960).

Como puede observarse, en las bajas altitudes la temperatura es más elevada, y por el contrario, a mayor altitud la temperatura disminuye. Según el gradiente térmico vertical la temperatura disminuye 0.6°C por cada 100 metros de ascenso; no obstante, este dato varía de acuerdo a la cantidad de humedad atmosférica en determinado momento. A mayor cantidad de humedad en la atmósfera menor es la disminución de la temperatura con la altura y viceversa. Así, la temperatura varía con la altitud desde 0.4°C hasta 1.2°C por cada 100 metros, lo que indica que los valores cercanos a 0.4°C son muy húmedos y los que se aproximan a 1.2°C son bastante secos.

Las presiones atmosféricas varían con la altitud; a menor altitud existe mayor cantidad de capas de aire sobre el suelo, por tanto, la presión es mayor y, por el contrario, a mayor altitud, la presión tiende a disminuir. Se sabe que los vientos de montaña obedecen a una mayor presión atmosférica por la noche que se forma por enfriamiento en las cimas del relieve. Así, esos vientos de escasa velocidad parten de las montañas hacia los valles, mientras durante el día realizan el recorrido contrario como consecuencia de la inversión en los valores de presión en ese sitio.

Las altitudes están relacionadas con las precipitaciones. Según el cuadro, a menor altitud, caen menores precipitaciones y, por el contrario, a mayor altitud las lluvias presentan valores más elevados. Este argumento es válido hasta cierto nivel altitudinal, es decir, se ha observado que las mayores precipitaciones se registran entre los 1000 y 3000 metros de altitud. A mayores altitudes comienzan a decrecer las

precipitaciones; mientras, a niveles menores de 1000 metros, también suelen ser más escasas, ya que el vapor de agua necesita enfriarse para llevar a cabo la condensación. Pero, si la atmósfera está saturada las máximas precipitaciones pueden producirse a niveles más bajos.

2.9.3 Orientación del relieve. La orientación de las configuraciones del relieve representa un factor muy relevante en la formación de los climas. La orientación orográfica permite diversas incidencias de los elementos climáticos, pues éstos afectan a esos espacios con diferente magnitud, frecuencia e intensidad, dependiendo del flanco por el que irrumpen.

En el hemisferio norte, las montañas que presentan sus costados hacia el norte, generalmente tienen tiempos atmosféricos y climas más fríos que las que tienen sus pendientes hacia el sur. Ello se debe a que en las áreas del norte incide menos insolación a lo largo del año (el sol en su movimiento aparente a lo largo del año, sólo recorre las latitudes de los trópicos, por lo que sus rayos llegan casi siempre más inclinados hacia los polos) y además porque las masas de aire frío y los vientos de elevadas latitudes tocan primero esos costados.

Las partes de las montañas (del hemisferio norte) que se orientan hacia el sur reciben mayor cantidad de insolación durante el año. Al observar los lados del sur se aprecian áreas climáticas distintas; un indicio inmediato es la disposición de la vegetación, la cual difiere en algunos aspectos con respecto a las superficies del norte, por sus mayores niveles de temperatura.

Los volcanes más elevados de México que se encuentran aproximadamente a los 19° de latitud, como son: Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccihuatl y Nevado de Toluca, presentan menor cantidad de nieve hacia sus costados del sur. A lo largo del año reciben por el sur más de diez meses de radiación solar, razón por la que esas vertientes poseen menor cantidad de hielo. Empero, las superficies de las zonas del norte contienen más nieve en ciertos períodos del año, por la irrupción de vientos fríos por esa dirección.

Las vertientes de las montañas que se disponen hacia la dirección de los vientos crean con frecuencia zonas de barlovento, lo que favorece el contacto con vientos húmedos, y ello conduce a la formación de mayor cantidad de precipitaciones en esos costados. También esta cualidad crea ambientes relativamente diferentes en oposición a las zonas de sotavento.

Los costados que se encuentran hacia sotavento son por naturaleza menos húmedos, motivo por el que albergan componentes bióticos y abióticos con peculiaridades áridas o semiáridas. En el mismo lado de sotavento si las pendientes son altas y abruptas, se puede presentar el efecto Fohen, es decir, el calentamiento adiabático del aire que desciende de la montaña al irse comprimiendo paulatinamente en los estratos más bajos de la atmósfera.

La orientación del relieve y sus formas imprimen ciertas condiciones atmosféricas en algunos lugares de la superficie terrestre. Por ejemplo, el asiento de los valles y cuencas retiene en ocasiones masas de aire, que al permanecer por algún tiempo ahí, mantienen estados del tiempo atmosférico diferentes con relación a las zonas más elevadas. Las barreras orográficas también pueden frenar la velocidad de los vientos y desviar su dirección.

La distribución del relieve interviene de manera determinante en las manifestaciones ambientales, para favorecer o impedir algunas situaciones relacionadas con los elementos climáticos.

2.9.4 Continentalidad. La continentalidad es la distancia que existe de cualquier lugar de los continentes al océano. El tiempo atmosférico y el clima de una región dependen parcialmente de la cercanía o de la lejanía de ésta con respecto al océano.

El cuadro que sigue muestra la influencia de la continentalidad en las zonas climáticas terrestres y marítimas.

**CONTINENTALIDAD Y LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS**

ZONAS	TEMP.	PRESIÓN	VIENTOS	HUMEDAD
TERRESTRES	Más cálida (verano)	Baja en verano	Monzón (verano)	Menos húmedo
MARÍTIMAS	Más fría (invierno)	Baja en todo el año	Monzón (invierno)	Más húmedo (invierno)
	Moderada (verano)			

Cuadro: 2.8

Fuente: E. de Martonne, citado por Vivó (1960).

En el cuadro se observa que las zonas terrestres difieren de las marítimas en el comportamiento de los diversos elementos climáticos.

Las temperaturas ocurren de manera diferente a lo largo del año en cada zona, pero las diferencias son más marcadas en las dos estaciones extremas: verano e invierno. En el verano las temperaturas son más elevadas en las áreas continentales que en las oceánicas, mientras en invierno sucede lo contrario: las temperaturas más bajas también se registran en los continentes.

Los lugares cercanos a los mares no presentan grandes diferencias térmicas entre el verano y el invierno, pues la elevada cantidad de vapor de agua actúa como un termostato manteniendo ambientes térmicos poco extremos, también el agua

retiene por mucho más tiempo el calor almacenado con relación a las áreas continentales, lo que origina que esos sitios gocen de climas más benignos.

En las zonas de mayor continentalidad se registran con mayor frecuencia los valores extremos de temperaturas. En algunos días del verano las temperaturas se incrementan a niveles poco comunes; por ejemplo, al norte del Sahel en Africa (zona de marcada continentalidad), se han llegado a registrar temperaturas de hasta 61°C, dentro de las garitas meteorológicas, pero a nivel del suelo las temperaturas pueden ascender más allá de los 80°C. En invierno en esa misma región las temperaturas pueden bajar a -15°C.

Las presiones atmosféricas son generalmente bajas durante el verano en las áreas continentales provocadas por la elevación de las temperaturas. Las bajas presiones atraen los vientos, y si éstos provienen del océano transportan humedad que posteriormente puede dar origen a las lluvias.

Las presiones altas que se forman en los continentes en invierno permiten que los vientos se dirijan hacia los océanos donde las presiones son relativamente más bajas. Este mecanismo da origen al monzón de invierno, es decir, los vientos son secos y se dirigen hacia los mares.

En las zonas situadas entre los trópicos, los lugares cercanos al océano son más húmedos y, por tanto, la probabilidad de precipitaciones es mayor, con relación a las zonas más alejadas. Los lugares con menos continentalidad poseen tipos climáticos que en teoría pueden favorecer vegetación y fauna más o menos abundante, recalcando que esta aseveración no siempre se cumple, pues para explicar casos que parecen contradictorios hay que tomar en cuenta otros factores más satisfactorios.

En las regiones ecuatoriales, tropicales y subtropicales, los vientos alisios se trasladan de Este a Oeste, de manera general, ya que por la interferencia de ciertos fenómenos geográficos o atmosféricos pueden modificar su velocidad y dirección. Los alisios cuando cruzan los océanos transportan vapor de agua hacia los continentes, pero al irse desplazando cada vez hacia las zonas occidentales van perdiendo dicha humedad (por condensación, sublimación o precipitación), así, las regiones más alejadas (situadas hacia el Oeste), son por este factor áridas o desérticas. A este proceso que conlleva a la sequedad, se le ha denominado "efecto climático de occidentalidad".

En la República Mexicana, el "efecto climático de occidentalidad" se presenta primordialmente en las zonas occidentales de los estados de Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Aguascalientes, Sinaloa, etc., cuyas zonas se ubican del centro o hacia el oeste del país. Así, el "efecto de occidentalidad", queda confinado con la continentalidad.

2.9.5 Corrientes marinas. Estas masas de agua que fluyen dentro de los océanos imprimen grandes efectos en los climas de las regiones continentales cercanas a los mares por donde se desplazan.

El siguiente cuadro muestra la relación entre las corrientes marinas y los elementos climáticos.

#### **CORRIENTES MARINAS Y ELEMENTOS DEL CLIMA**

<b>CORRIENTE</b>	<b>TEMPERATURA</b>	<b>VIENTOS</b>	<b>NUBOSIDAD</b>	<b>PRECIP.</b>
Fría	Más fría	Regulares	Brumoso	Escasas
Cálida	Más cálida	Irregulares	Nuboso	Lluvioso

Cuadro: 2.9

Fuente: E. de Martonne, citado por Vivó (1960).

Las corrientes marinas frías, por su naturaleza, dificultan la evaporación de las aguas por donde se desplazan, es decir, la convección ascendente es deficiente, lo que conduce a niveles bajos de humedad atmosférica y, por tanto, a precipitaciones escasas en esas áreas. Pero también las corrientes marinas frías que se encuentran en regiones de subsidencias (más o menos a los 30° de latitud conforme a la circulación general de la atmósfera) presentan escasa humedad por esa situación.

La poca humedad que generalmente se observa cerca de las costas donde afectan las corrientes marinas frías, dan origen a la formación de neblinas y nieblas que dificultan la visibilidad. Este tipo de neblinas son comunes en las costas de Perú, donde les dan el nombre de "garúas"; en esta región emerge la corriente marina fría llamada de Humboldt que produce dichos ambientes. En las costas del noroeste de la República Mexicana se tiene la corriente marina fría de California que influye en la disposición de los climas semiáridos de la zona.

Las corrientes marinas cálidas facilitan la evaporación y por consiguiente transportan humedad a las áreas continentales, las que después se traducen en lluvias. En muchas regiones los climas cálidos y lluviosos están influenciados por este tipo de corrientes.

Tanto las corrientes marinas cálidas como las frías no sólo aportan humedad a la atmósfera sino también contribuyen a la formación de precipitaciones así como la distribución del vapor a grandes distancias que garantizan el intercambio de calor y con esto la formación efecto invernadero en la Tierra.

2.9.6 Vegetación. El conjunto de las plantas constituye un factor de gran trascendencia en las imbricaciones atmosféricas en diversas regiones de la Tierra.

La relación entre la vegetación y los climas se expone en el cuadro siguiente:

## VEGETACIÓN Y LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

VEGETACIÓN	TEMPERATURA	HUMEDAD	PRECIPITACIÓN
Bosque	Más baja	Máxima	Aumenta
Pastizal	Más alta	Media	Media
Xerófilas	Gran variación Térmica	Mínimo	Disminuye

Cuadro: 2.10

Fuente: E. de Martonne, citado por Vivó (1960).

Se sabe que donde existe suficiente bosque la temperatura tiende a ser más baja, pero se mantiene más constante debido a que el vapor de agua crea un efecto termorregulador que evita las variaciones extremas. Mayor cantidad de bosques, con sus estratos: herbáceo, arbustivo y arbóreo, por medio de la evapotranspiración mantienen el ambiente más húmedo, lo que en cierta medida, eleva las precipitaciones.

Los bosques representan un refugio térmico para otros seres vivos, como los animales y el ser humano. Los bosques también moderan la velocidad de los vientos y las lluvias torrenciales, de esta manera amortiguan o evitan parte de la erosión eólica e hídrica.

Los pastos también contribuyen a detener la humedad y la energía calorífica, dificultan las fuertes o rápidas irradiaciones nocturnas. Se ha demostrado que la temperatura que se encuentra entre el pasto y por debajo del mismo es más elevada que la que se mide en la capa adyacente de aire.

Las plantas xerófitas como es obvio, se distribuyen en zonas semisecas y secas; estos vegetales son de escasa talla y de poca densidad por unidad de superficie, situación que da como resultado fuertes irradiaciones vespertinas y nocturnas propiciando así fuertes descensos térmicos. Las temperaturas en el día suelen ser muy elevadas, con lo que se crean fuertes variaciones térmicas.

2.9.7 Naturaleza del suelo. Considerando la textura, el color y el grado de humedad del suelo, se puede inferir que estas características influyen en la manifestación del tiempo atmosférico y del clima a nivel micro escala en diversos lugares del planeta.

La textura puede entenderse como la manera en que se disponen los granos de suelo y las rocas en un espacio determinado. Hay suelos con diferentes tamaños de granos, desde muy finos hasta rocosos, adoptando distintas formas.

Se sabe que un suelo con bastantes partículas sobre el terreno, entre ellas rocas, presentan múltiples intersticios y poros que permiten el almacenamiento de calor y de

humedad. Estas condiciones edáficas producen ciertos microclimas que en ocasiones son refugio de algunas plantas y animales. Mientras que los suelos compactos, es decir aquellos que no tienen muchos poros, casi no tienen la aireación y durante el día se calientan y por la noche tienden a enfriarse muy rápido.

Los suelos con material suelto y rocoso son lugares con climas locales más cálidos y húmedos con relación a los llanos y compactos. Estos efectos que pueden parecer insignificantes crean microambientes ecológicos muy importantes para algunos organismos.

Los suelos por toda una serie de procesos físicos, químicos y biológicos experimentan a través del tiempo algunas alteraciones con las que adquieren ciertas coloraciones. Los colores más comunes son los oscuros que por lo general contienen mucha materia orgánica; los rojos que presentan un elevado grado de oxidación y los claros cuyo contenido es básicamente carbonato de sodio, como son los calcáreos.

En términos generales los suelos oscuros absorben más calor que los claros; en tanto, éstos últimos reflejan con mayor intensidad la energía solar, es decir, tienen un albedo alto.

Los suelos oscuros que mantienen mayor cantidad de calor durante las 24 horas influyen notablemente en el crecimiento y desarrollo de forma más rápida en los cultivos agrícolas. Se ha observado que en algunos sitios del Bajío en México, los suelos oscuros junto con la humedad mantienen un crecimiento y rendimiento elevado del maíz, fresa, sorgo, leguminosas, etc.

Todos los factores climáticos descritos son los que participan de manera más directa en las condiciones del tiempo atmosférico y el clima en todas aquellas regiones donde el ser humano no ha alterado de manera significativa a los componentes de la Naturaleza.

Los factores geográficos han interactuado con los elementos climáticos prácticamente desde los inicios de la formación de la Tierra, hace 4,500 millones de años; desde entonces, han contribuido a la evolución de todo el sistema tierra-océano-atmósfera. Los eventos glaciales e interglaciales han sido impulsados por factores cósmicos, pero con el crecimiento de la población humana han surgido otros agentes que en este trabajo se les ha denominado factores antrópicos.

## 2.10 Factores antrópicos

En las últimas décadas el aumento de las actividades humanas ha provocado la introducción de otros factores que es necesario tomarlos en cuenta para la explicación de las manifestaciones atmosféricas. Los más relevantes son: deforestación, erosión, materiales urbanos, contaminación atmosférica, efecto invernadero, siembra de nubes, irrigación en desiertos y los "inviernos nucleares".

2.10.1 Deforestación. La tala inmoderada, el deshierbe, los incendios y las plagas son las principales acciones que provocan la disminución de la cubierta vegetal en diversas áreas de la superficie terrestre.

La deforestación conduce al aumento del dióxido de carbono en la atmósfera, pues al menguar la vegetación, ésta ya no consume dicho gas para llevar a cabo la fotosíntesis. Además el gas carbónico se incrementa con los incendios, lo que representa un contaminante natural que se agrega al ambiente.

Con relación a la importancia que tienen los vegetales en el proceso de la fotosíntesis, Bouver (1985), argumenta: "al talar un árbol se está limitando su capacidad fotosintética, donde el oxígeno es un producto de desecho. Durante la fotosíntesis la planta absorbe 265 gramos de dióxido de carbono y 108 gramos de agua para producir 192 gramos de oxígeno y 180 gramos de azúcares. En general las plantas son capaces de fijar como máximo 8 gramos de dióxido de carbono en un metro cuadrado de superficie foliar en una hora de exposición solar con agua y temperatura ideal".

La cita de Bouver refleja la importancia que tienen las plantas para disminuir el dióxido de carbono en la atmósfera, pero al mismo tiempo son fuente de oxígeno para los otros seres vivos.

Erickson (1991), menciona: "los bosques tropicales, en particular los de la cuenca Amazónica de América del Sur, se están destruyendo a una velocidad de unos 60,000 kilómetros cuadrados, por año...cuando llegan las lluvias, el suelo desnudo es arrastrado por las avenidas respectivas, quedando la mayor parte del sustrato rocoso al descubierto. Los bosques están repartidos por todo el mundo actuando como reguladores del clima. La desertificación que conlleva a la pérdida de los bosques aumenta el albedo de la superficie, que refleja la luz del Sol hacia el espacio. Esta pérdida de energía altera el sistema global de precipitaciones causando un descenso en la cantidad de lluvia caída".

#### PAÍSES CON CIFRAS DE DEFORESTACIÓN MÁS ELEVADA

PAÍS	MILES/Km <sup>2</sup> /AÑO
Brasil	50,000
Indonesia	12,000
Birmania	8,000
México	7,000
Colombia	6,500
Tailandia	6,000
Malasia	4,800
Nigeria	4,000
Zaire	4,000
Perú	3,500
Costa de Marfil	2,500

Cuadro 2.11

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 1995.

Como se aprecia en el cuadro, los países de escaso desarrollo económico son los que aparecen en primera instancia en el ámbito de la deforestación. Parte de los ingresos económicos en esos países proviene de la venta de madera, tanto nacional como al extranjero, no obstante, la tala desmedida representa serios problemas al ambiente.

La deforestación puede alterar drásticamente la circulación atmosférica de varias regiones del planeta. En la actualidad en varios países del mundo se habla del cambio climático, situación que preocupa a mucha gente; empero, las prácticas depredatorias siguen su curso a cada momento.

**2.10.2 Erosión.** La erosión es el desgaste de la superficie terrestre ocasionando la pérdida de sus capas superficiales por la sucesión de procesos físico-químicos, por medio del agua, el viento y los agentes biológicos. Existen tres tipos principales de erosión del suelo que son: la erosión hídrica producida por la acción del agua, la erosión eólica originada por el viento y la erosión antrópica con la intervención del ser humano (considerada erosión acelerada).

La erosión ocasionada por cualquiera de las tres formas anteriores conlleva al desgaste de los suelos: pérdida de elementos químicos y de materia orgánica. El transporte de los materiales deja a esos espacios desnudos y en muchos de los casos con afloramientos de la roca madre.

Los terrenos desprovistos de vegetación pierden también la cubierta suelo así como la porosidad, lo que los convierte en material más compacto. Cuando los terrenos llegan a esta etapa los intersticios desaparecen y es difícil guardar por largo tiempo calor y humedad. Asimismo, durante el día sube con exceso la temperatura y por la noche suelen producirse grandes irradiaciones, ocasionando condiciones térmicas extremas. Los espacios erosionados también presentan humedades relativas muy bajas.

**2.10.3 Materiales urbanos.** Se sabe que a medida en que una localidad se transforma en una ciudad, se presentan alteraciones ambientales considerables en ese espacio. Con el crecimiento poblacional y urbano se alteran las condiciones hídricas, edáficas, vegetativas, topográficas, agrícolas, etc. Al presentarse esa afectación se alteran también los elementos atmosféricos.

Las ciudades están constituidas de piedra, cemento, asfalto, varilla, etc. Estos materiales absorben rápidamente el calor a lo largo del día. Esta situación hace a las ciudades más cálidas con relación al campo rural adyacente. El calor se incrementa con la combustión y la calefacción en las casas y edificios. También los vehículos y fábricas desprenden calor con lo que se contribuye a aumentar los valores térmicos. El elevado número de personas reunidas en ciertas áreas acumulan también calor, pues el cuerpo de cada individuo está generando constantemente energía.

## CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE ALGUNOS MATERIALES

MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	CALOR ESPECÍFICO
Arena	1520	810
Adobe	1500	1480
Vidrio	2600	900
Asfalto	1700	1140
Acero	7760	450
Aluminio	2700	910
Madera	600	1210
Triplay	560	1400
Agua	1000	4190

Cuadro: 2.12

Fuente: Tudela (1985).

En el cuadro se muestra que los materiales más densos son el acero, el aluminio, el vidrio y el asfalto, mientras el triplay y la madera tienen los valores más bajos. El calor específico es más elevado en el agua, el adobe, el triplay y la madera. Los materiales que contienen mayor calor específico son los que más abundan en el campo, pero no presentan áreas con elevados índices de calor ya que no representan grandes aglomeraciones. Los materiales más densos son los que más predominan en la ciudad y son los que contribuyen a elevar la temperatura, sobre todo en el día, porque por la noche lo liberan muy rápido por su poco poder calorífico. Estos últimos materiales crean grandes variaciones térmicas entre el día y la noche, y entre la ciudad y los espacios rurales.

Dentro de las ciudades existen ciertos espacios en los que se eleva más la temperatura con respecto a las áreas adyacentes, a esas diferencias se les llama "islas de calor". Las "islas de calor" inducen a un fenómeno convectivo que impulsa el aire hacia arriba, después, éste se esparce hacia las partes laterales y cuando se enfría tiende a bajar, formando una especie de domo aéreo. Este dinamismo altera el patrón local de los vientos.

Las "islas de calor" en las ciudades crean un campo de baja presión atmosférica, ésta atrae los vientos circundantes provocando así una advección que remueve los polvos y partículas hacia el centro. Los flujos ocasionan tolvaneras muy perjudiciales a los seres vivos.

El cemento y el asfalto obstruyen la libre transpiración de los suelos y, por tanto, existe poco intercambio de humedad entre el suelo y la atmósfera; ocasionando con ello deficiencia en la humedad relativa. Según Landsberg (1970), la humedad relativa en la ciudad disminuye en un 20%, con relación a las zonas rurales.

Las "islas de calor", también inducen a la creación de "islas de lluvia": durante el verano, el ascenso del vapor de agua, conduce a formación de algunos tipos de nubosidad, con frecuencia a las cúmulos que posteriormente originan lluvias en dichas

áreas. Las "islas de calor" alteran la distribución de las lluvias.

Las casas y edificios actúan como barreras en la circulación de los vientos. Los vientos locales y regionales a menudo cambian su dirección y velocidad. La velocidad de estos flujos tiende a disminuir. Los edificios altos dificultan la ventilación adecuada en las ciudades.

Los tipos de materiales con que están construidas las ciudades provocan la alteración de los fenómenos atmosféricos. El grado de variación climática dependerá del trazo y de la magnitud de cada ciudad.

### VARIACIONES CLIMÁTICAS: CIUDAD-CAMPO MÜNICH, ALEMANIA

ELEMENTO	PARÁMETRO	COMPARACIÓN CAMPO-CIUDAD
Insolación	Verano	-5%
	Invierno	-30%
Temperatura	Media anual	0.7°C
	Convección	Verano Invierno
Presión	Verano	-4 mm
	Invierno	7 mm
Viento (vel.)	Media anual	-30%
	Calmas (frec.)	8%
Evaporación	Verano	5%
	Invierno	-10%
Humedad R.	Verano	-8%
	Invierno	-2%
Nubosidad	Frecuencia	5%
Precipitación	Tormentas	8%
	Lloviznas	-3%
Nieblas	Densidad	30%
Tolvaneras	Parduscas	25%
Visibilidad	Kilómetros	-40%

Cuadro: 2.13

Fuente: Landsberg (1970).

Los datos que se muestran en el cuadro anterior indican las diferencias atmosféricas entre la ciudad de Munich, Alemania y el campo rural circundante. Los datos pueden ser válidos sólo para esa ciudad y sus áreas aledañas; sin embargo, es una muestra de lo que está pasando en otras zonas del mundo como consecuencia inmediata de las actividades humanas.

2.10.4 Contaminación del aire. Toda sustancia extraña que se introduzca a la composición de la atmósfera, ya sea de manera natural o por el ser humano se considera contaminación. Los contaminantes naturales son: cloruro de sodio, polen, polvo, esporas, ceniza volcánica, etc. La contaminación se ha incrementado por el hombre sobre todo después de la Revolución Industrial que comienza en Inglaterra a finales del siglo XVIII; desde entonces las fábricas arrojan al aire humos nocivos para

el ambiente.

Los centros industriales y las ciudades son las fuentes más importantes de contaminación atmosférica; los gases que destacan son: dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas de origen orgánico e inorgánico.

Cuando los contaminantes se mezclan con el aire, reaccionan químicamente con otros gases como el oxígeno y el vapor de agua, con lo que resultan productos fotoquímicos, ácidos corrosivos y tóxicos como el ozono. Este último es beneficioso para el planeta estando en la estratosfera, pero cerca del suelo daña a los organismos vivos.

La contaminación atmosférica puede estar aumentando el efecto invernadero en la Tierra. Con la elevación de la temperatura se modifican los sistemas del tiempo atmosférico y el clima (como se verá en el capítulo IV).

#### FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

CONTAMINANTE	FUENTE	AFECTACIÓN
Oxido de azufre	Industria	Corroe materiales
Monóxido de carbono	Automóvil	Disminución mental
Oxido de carbono	Industria-autos	Estrés
Oxido de nitrógeno	Automóvil	Irrita los ojos
Ozono	Industria	Veneno

Cuadro: 2.14

Fuente: James Marshal, 1988.

Las partículas contaminantes actúan como núcleos de condensación y de sublimación. Así, las lluvias, nieblas y neblinas contienen esas sustancias. Esos estados del agua adquieren un color oscuro: de ahí se deriva la palabra smog (nebluno) y se adoptó para describir una mezcla de smoke (humo) y fog (niebla).

Cuando se presentan inversiones térmicas el aire frío queda cerca de la superficie terrestre, permaneciendo por algún tiempo con muy poco movimiento. En ocasiones la masa de aire frío contiene muchos contaminantes y quedan atrapados muy cerca del suelo. El smog o nebluno cuando se estanca por mucho tiempo en ciertas áreas puede causar envenenamientos como los ocurridos en Nueva York en 1948 y en Londres en 1952.

Las nubes que acumulan cierta cantidad de sustancias tóxicas como las mencionadas, han estado dando origen a la llamada lluvia ácida, la cual deteriora el crecimiento y desarrollo de la vegetación; asimismo, corroe los materiales de edificios y monumentos públicos.

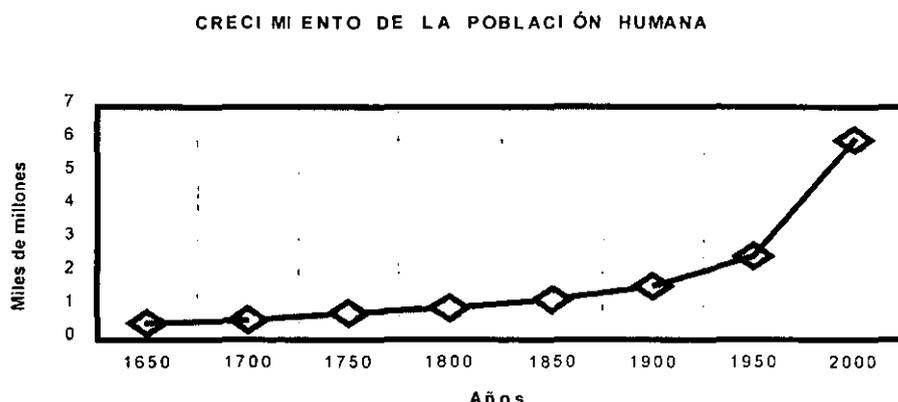
La contaminación del aire altera la distribución, la frecuencia y la intensidad de los

elementos atmosféricos en varias regiones del mundo, pero también está provocando un gran deterioro ecológico.

Los factores antrópicos se han incrementado a medida que la población mundial aumenta. Estos procesos, por consiguiente también han ensanchado su magnitud, frecuencia e intensidad. En el transcurso del tiempo, dichos factores seguirán aumentando en las diversas regiones del mundo.

Sin duda el crecimiento de la población humana en los últimos siglos ha provocado modificaciones importantes, no sólo en el clima, sino también en el ámbito social, político y económico.

En la gráfica 2.1, se observa que la población era relativamente escasa de 1650 a 1750, pero después de la Revolución Industrial se aprecia el crecimiento vertiginoso. Las mejoras en los sectores de la medicina y en los niveles de vida provocó también el auge humano. Se puede ver que tan sólo de 1950 a 1990 la población aumentó 2.6 millones de personas, y al ritmo que sigue, la duplicación pronto volverá a presentarse.



Gráfica 2.1  
Fuente: Labeyrie Jacques (1990).

2.10.5 Deterioro de los cuerpos de agua. Los mantos acuosos están representados por los ríos, arroyos, lagos, lagunas, presas, etc. Con las actividades humanas, esos mantos están sufriendo desequilibrios hidrológicos y ecológicos. Con el irracional uso del agua, se ha afectado la infiltración, el escurrimiento y la evaporación del agua de las lluvias.

Con la expansión de las ciudades, el aumento de las superficies agrícolas y ganaderas, la deforestación, etc., la infiltración y el escurrimiento modifican sus procesos naturales y esta situación da como consecuencia variaciones en los elementos del clima.

Cuando los cuerpos de agua empiezan a secarse, es obvio que la humedad atmosférica tiende a decrecer provocando que en ese espacio se tenga la sensación de frío por la noche y elevado calor en el día. Los extremos térmicos también repercuten en el desarrollo de las fases y etapas de las plantas, pues con una variación atmosférica se puede presentar un atraso o adelanto en sus funciones vitales.

Como ya se consideró antes, los lugares cercanos a las masas de agua mantienen más o menos estable la temperatura a lo largo del año. La humedad elevada en el aire conduce el mecanismo del efecto invernadero. También la nubosidad y las lluvias se incrementan en esos lugares de mayor cantidad de vapor de agua.

La contaminación de los ríos y los lagos oscurece sus capas y eso impide de manera parcial la infiltración de los rayos solares. La reflexión es menor por la coloración del agua, lo que eleva los niveles de calor, provocando mayor evaporación y la consecuente disminución acuosa.

El deterioro de los cuerpos de agua en varias regiones de la Tierra ha estado modificando la distribución de la humedad en la atmósfera y, por tanto, los elementos atmosféricos. Este es otro ejemplo de la participación del ser humano en las variaciones climáticas del planeta.

2.10.6 Irrigación en desiertos. Las zonas desérticas o áridas, cuando son irrigadas para destinarlas a la agricultura o a la construcción de presas y canales, se convierten en áreas microclimáticas en los alrededores a los que proveen de un ambiente de confort a los seres vivos.

La irrigación es un medio efectivo para utilizar la tierra en los desiertos, siempre que haya agua disponible. En zonas desérticas de México, Estados Unidos, Israel, Libia, Arabia, Chile, Perú, etc., se han utilizado sistemas de riego para plantar árboles frutales y emprender labores agrícolas. Estas prácticas modifican no sólo el paisaje sino también a los climas locales.

Cloudsley y Thompson (1987), argumentan: "el clima del desierto da lugar a un crecimiento rápido de las plantas cuando disponen de agua ilimitada. Se pueden recoger muchas cosechas al año. En Libia el proyecto llamado Kufra, destinado a irrigar 50,000 hectáreas con los más modernos sistemas de aspersion, está produciendo cosechas fenomenales de alfalfa y granos".

La cita de los autores anteriores es halagadora para transformar los desiertos en áreas verdes y obtener muy buenas cosechas. Las temperaturas en muchos desiertos como el de Sonora en México, oscilan durante el día entre 27° y 38°C, otros, como en el sur de Libia entre 30° y 40°C. Estas temperaturas son adecuadas para cultivar varias especies vegetales, siempre y cuando se introduzca un sistema de riego.

Los proyectos de irrigación en las zonas desérticas se han utilizado desde tiempos antiguos, por ejemplo, los egipcios realizaron todo un sistema de canales a las orillas del Nilo para regar sus cultivos de trigo, avena, centeno, etc. Pero, cuando las crecidas son muy fuertes barren con los suelos y anegan las superficies, además la salinidad suele elevarse.

La introducción de agua y de vegetación en algunas áreas de los desiertos provoca variaciones climáticas locales. La humedad generada por el riego y las plantas crea ambientes frescos que sirven para moderar las temperaturas en el día y la noche.

2.10.7 Siembra de nubes. Consiste en introducir dentro de las nubes algunas sustancias, como yoduro de plata, dióxido de carbono seco, etc., que permiten agilizar el proceso de las precipitaciones, con el propósito de hacer llover o de menguar los probables efectos nefastos de las tormentas.

En los años cuarenta, en Estados Unidos de Norteamérica se incrementaron los estudios referentes a la producción de lluvia artificial. En 1946 Schaefer utilizó hielo seco (dióxido de carbono congelado), para sembrar una nube. Voló en avioneta sobre una nube cúmulonimbo y arrojó un kilo de hielo seco pulverizado a lo largo de cinco kilómetros, y se pudo observar que de la nube comenzó a precipitar gran cantidad de nieve.

La función del hielo seco es congelar, a temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$ , el vapor de agua existente dentro de la nube, con lo que éste se adhiere a los cristales de hielo ya existentes, para engrosar sus dimensiones, y enseguida comienzan a precipitar en un período mucho menor que como lo harían en su mecanismo normal. El hielo seco y otras sustancias afines, como el yoduro de plata, tienen el mismo propósito.

A principios de los años sesenta la Marina y la Oficina del Tiempo de Estados Unidos emprendieron un proyecto denominado Stormfury con el objeto de sembrar las nubes de los ciclones tropicales. Así, en 1963 sembraron al huracán Debbie en el Atlántico, con lo que se dice que disminuyó su fuerza en un 30%, pero el hidrometeoro enseguida recuperó su fuerza y volvió azotar las costas.

Los experimentos se continuaron en los años sesenta, pero los investigadores del proyecto argumentaron que en todos esos años de práctica con huracanes fueron más incertidumbres que aciertos, ya que esos fenómenos en ocasiones tomaban más fuerza después de la siembra y sólo desviaban su curso.

Vivó, en el año de 1974, publicó en un artículo que de 1971 a 1972 fueron años de grandes sequías en la República Mexicana y Centroamérica. En ese período parece que coincidió la siembra de huracanes por el Stormfury con los años secos de la región. Por esa época el mismo investigador declaró a la prensa mexicana que las sequías de esos años eran provocadas por la siembra de huracanes; también declaró que el huracán Fifi que afectó a Honduras los días 18 y 19 de septiembre de 1974 fue

un ciclón "experimentado" dentro del mismo proyecto.

Vivó atribuía a las prácticas con huracanes en el Atlántico la alteración del tiempo atmosférico de Norteamérica, lo que se traducía en sequías muy fuertes, al no dejarse el libre desarrollo y curso de los hidrometeoros hacia áreas continentales.

Ahora se sabe que la siembra de huracanes es un grave error, ya que la gran humedad que transportan no sólo afecta a una región, sino sus consecuencias son a nivel mundial. Se cree que muchas de las precipitaciones, incluso de Europa, se deben a los aportes de humedad por huracanes.

Hay que considerar que con la humedad y el calor que transportan los huracanes a gran escala mundial, no solamente se garantiza mayor cantidad de lluvias, sino que permiten el proceso del efecto invernadero el cual mantiene el equilibrio térmico en toda la Tierra.

Vivó en los años setenta argumentaba que las tormentas tropicales y los huracanes aportan alrededor de la mitad de lluvias durante el año a la República Mexicana. Esta cantidad es muy importante para el abastecimiento de los cuerpos de agua y para las diversas prácticas agrícolas. Cuando existe disminución o escasez de humedad en el país por dichos fenómenos meteorológicos, generalmente se presenta un año seco en gran parte del territorio nacional.

México es un país privilegiado a escala mundial, al recibir aportaciones de humedad por ciclones tropicales. Al territorio nacional irrumpen precipitaciones considerables de las cuatro principales zonas generadoras de América: Istmo de Tehuantepec, Sonda de Campeche, Mar Caribe y Oeste de Africa. Sin duda, gran parte del territorio mexicano sería más árido sin la visita de esos torbellinos acuosos.

Año tras año, la frecuencia y la magnitud de los huracanes no es la misma. Esto se debe a características naturales del clima. Empero, dado el gran deterioro ambiental que se observa en la actualidad, es probable que los seres humanos estemos alterando también los procesos físicos de los huracanes.

En diversas regiones del mundo, la humanidad siempre ha deseado controlar el tiempo atmosférico o el clima para que le sean más fáciles sus labores cotidianas. Por ejemplo, el uso de irrigación en sus parcelas agrícolas, la utilización de ventiladores y calefactores, ya sea en la agricultura o en actividades domésticas. Es correcto manipular el tiempo atmosférico para facilitar cualquiera de los quehaceres que se realizan en la sociedad, siempre y cuando no se deterioren los componentes ambientales que pudieran perjudicar a la población en su conjunto.

En la República Mexicana también se han hecho experimentos para estimular las lluvias en algunas regiones que donde las sequías representan un problema importante, como son las zonas áridas del centro y norte del país.

Villegas (1992), menciona: "durante el año de 1953 la Secretaría de Recursos Hidráulicos trató de incrementar la precipitación pluvial en el norte de México especialmente en los estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango y Tamaulipas, durante los meses de julio a septiembre; dispersaron hielo seco ( $\text{CO}_2$ ) por medio de avión, en nubes cúmulos superenfriados. Las prácticas continuaron en 1954, 1955, 1957 y 1960. De 1967 a 1970 la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la Comisión de Agua Potable de Monterrey y la Universidad de Nuevo León efectuaron un proyecto de estimulación en una zona de Monterrey y sus alrededores, utilizando generadores de yoduro de plata instalados en tierra; los quemadores fueron puestos a funcionar de 9 a 15 horas en días escogidos, en un área aproximada de 656  $\text{Km}^2$  ; los resultados no tuvieron éxito por falta de pruebas estadísticas".

La investigadora anterior menciona lo siguiente: "El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Comisión del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, desarrollaron un programa experimental de estimulación de lluvia en el Valle de México en los años 1973-1979. El objeto fue incrementar la precipitación de la Sierra Chichinautzin , para tratar de aumentar los niveles de los pozos de la zona cuyas aguas serían útiles para la ciudad de México. El rendimiento de los quemadores fue del 50%, los principales problemas fueron: material insuficiente, fallas eléctricas y falta de inspección".

Los experimentos se han llevado en México desde hace varios años, sin embargo, los resultados técnicos no han sido los adecuados. Tampoco se ha cuestionado sobre la manipulación del tiempo atmosférico como una práctica que puede en un momento determinado beneficiar a un sector de la sociedad, pero en otro, puede ser perjudicial, ya sea por las lluvias presentadas o por falta natural de éstas durante el proceso de estimulación.

2.10.8 Invierno nuclear. El oscurecimiento y enfriamiento de la Tierra por la presencia de nubes y polvos derivados de una o varias explosiones nucleares provocadas por el ser humano, es a lo que se le ha llamado "invierno nuclear". Si esta práctica se llevara a cabo en forma masiva, afectaría radicalmente los sistemas atmosféricos de toda la vida del planeta.

Por ejemplo, al explotar una bomba de hidrógeno, los átomos de este elemento se fusionan y dan origen al helio. Esto es lo que ocurre en el Sol, se producen reacciones termonucleares en donde se liberan temperaturas muy elevadas.

Cuando estalla un arma nuclear, se expande verticalmente una bola de fuego que irradia gran cantidad de energía térmica provocando así incendios a su paso. Al producirse las reacciones termonucleares éstas avanzan en todas direcciones formando una onda de choque que va destruyendo todo lo que encuentra. Se cree que las grandes cantidades de polvo y humo en la atmósfera impedirían la entrada de la luz solar. El bloqueo dificultaría la evaporación y las precipitaciones, lo que conduciría a periodos con deficiencia de lluvias.

Las consecuencias en el tiempo atmosférico y el clima serían desastrosas. Al respecto, Erickson (1990), comenta: "con menores cantidades de luz solar, las plantas se marchitarían y morirían, ya que no podrían llevar a cabo la fotosíntesis... Amplias zonas de la Tierra estarían sometidas a la prolongada obscuridad, bajas temperaturas, violentas tormentas de polvo y nieblas tóxicas. Las temperaturas bajarían entre 20° y 40°C, provocando situaciones de helada, incluso en verano".

Como se advierte, el panorama es muy desolador, en caso de un acontecimiento de este tipo a escala mundial. Sin embargo, se dice que durante los años en que transcurrieron las grandes guerras, la enorme cantidad de partículas y gases lanzados a la atmósfera, por armas de guerra, produjeron inviernos muy fríos y lluviosos.

Todos los factores que se acaban de mencionar son producto de las actividades humanas, y en la actualidad afectan a todas las regiones del mundo con magnitudes diferentes. Lo preocupante es que cada vez son más los factores que se agregan al ambiente y con esto las acciones del ser humano contribuyen a las variaciones climáticas. Las acciones humanas benéficas al ambiente son bienvenidas pero cuando se traducen en daños, como la contaminación atmosférica, es necesario emprender medidas correctivas.

## CAPÍTULO III

### FACTORES QUE EXPLICAN LAS FLUCTUACIONES CLIMÁTICAS

La historia de la Tierra se ha caracterizado siempre por presentar períodos relativamente cálidos llamados interglaciales y períodos un tanto más fríos que pueden convertirse en glaciaciones; las causas de las variaciones de los sistemas climáticos obedecen a diversos factores, que pueden actuar de manera unilateral o en conjunto. Cuando ocurre esto último los elementos del clima se pueden mostrar con sus valores extremos por cientos o miles de años, lo que puede conducir a fluctuaciones atmosféricas que afecten al medio ambiente.

En este capítulo se exponen los lineamientos generales de los diversos factores y teorías que se toman en cuenta para explicar las basculaciones climáticas que han ocurrido a través del tiempo en las diversas regiones de la Tierra.

#### 3.1 Teorías astronómicas

Unas de las teorías más difundidas por los científicos son las llamadas astronómicas, las cuales están basadas en argumentos que provienen de los movimientos y efectos de la Tierra con relación al Sol, los planetas y otros cuerpos cósmicos. De acuerdo a la dinámica de la posición de la Tierra, sobre todo con respecto al Sol, y agregando la oscilación de la actividad termonuclear de éste, la cantidad de energía solar que intercepta la atmósfera terrestre será diferente a lo largo del tiempo. Así, continentes, océanos y atmósfera recibirán energía calorífica, en ocasiones más y en otras menos; razón por la que los sistemas que conforman el clima han fluctuado siempre.

##### 3.1.1 Excentricidad de la órbita de la Tierra

Después de varios años surgió otra teoría que trata de explicar también las edades de hielo en Europa. La hipótesis fue elaborada por el mecánico escocés, James Croll, en 1865, en una obra llamada "El clima y las épocas". Croll retoma los argumentos de Adhémar, se basa en el hecho de la inclinación del eje terrestre, pero agrega otro aspecto de la astronomía: la excentricidad de la órbita terrestre.

En el siglo XVII, el astrónomo Johannes Kepler, se dio cuenta que las órbitas de los planetas son realmente elipses y no circunferencias, descubrió también que cada planeta recorre su órbita a diferente velocidad. Cuando el planeta se acerca más al Sol, mayor es su velocidad, y al contrario, a mayor distancia del Sol, la velocidad disminuye.

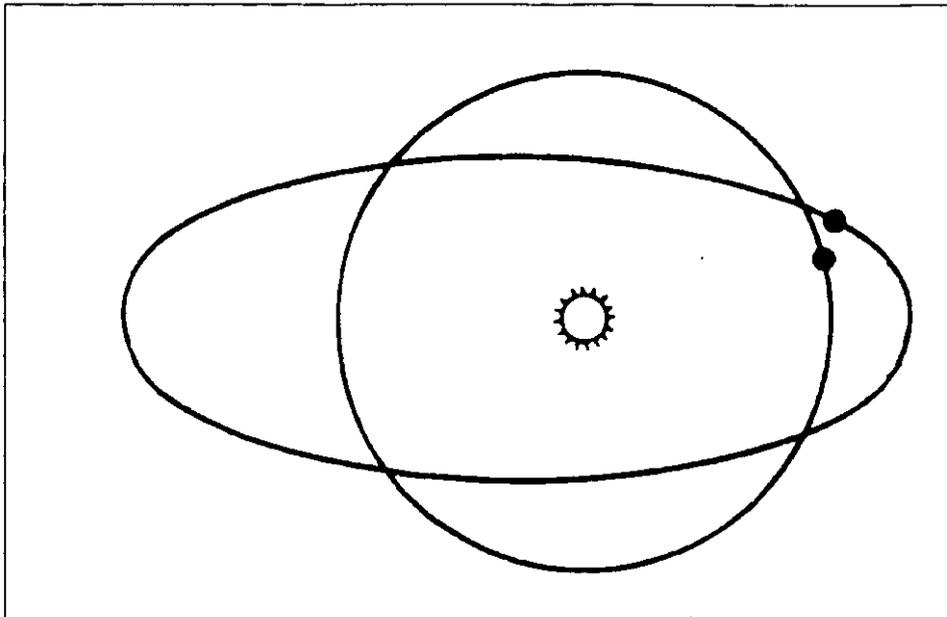


Figura 3.1 . Fases de la órbita terrestre. La posición de un círculo y una elipse con su máxima elongación conduce a posiciones diferentes de la Tierra con relación al Sol, lo que conduce a variaciones climáticas.

De acuerdo a los factores anteriores, la órbita de la Tierra varía entre un círculo y una elipse. El tiempo que transcurre entre esas dos posiciones es de aproximadamente 100,000 años. La excentricidad de la órbita terrestre oscila entre 0 y 6%. Hoy en día este valor es de 1.6%. Tales variaciones de excentricidad habían sido calculadas por el astrónomo francés Urbain Leverrier, en 1855. Croll aprovechó esos trabajos para edificar su teoría.

Croll infirió lo siguiente: cuando la órbita es un círculo, la Tierra mantiene constante una distancia de 148.8 millones de kilómetros durante el año, y entonces se presenta un clima cálido o período interglacial, mientras que cuando la órbita es alargada y de gran excentricidad, es causa de una glaciación. Sostenía que si los inviernos son muy fríos, la nieve puede acumularse con mayor facilidad, y de este modo reflejará la radiación solar incidente y se mantendrá la tierra fría.

Croll calculó que las épocas glaciales duraban 60,000 años; agregando que cada 22,000 años (debido a la precesión), uno de los dos hemisferios tendría que padecer miles de inviernos más fríos, con una diferencia de 11,000 años para el otro hemisferio. Concluyó que el último período gélido comenzó hace 250,000 años y se prolongó hasta hace 80,000 años.

En 1865, cuando Croll publica los resultados de su trabajo, los científicos estaban muy entusiastas, pero a finales del siglo XIX comenzaron a abandonar la idea, al encontrando que el último período glacial había finalizado hace unos 10,000 años. Con los nuevos hallazgos hubo muchas críticas a la teoría de Croll, un ejemplo es un comentario de Austin Miller.

Miller, (1975), opina: "la teoría de Croll no explica satisfactoriamente los hechos que ahora conocemos; las glaciaciones en ambos hemisferios fueron sincrónicas y no alternantes, su período no es de 21,000 años, ni de 100,000, ni es regular. Además entre los períodos glaciares han tenido efecto variaciones del clima que no puede explicar esta teoría y, por último, el final de la época glacial parece haber sido hace unos 15,000 años en lugar de los 80,000 que calculó Croll".

Con respecto a la teoría de Croll, también opina Labeyrie (1988), y dice: "en 1875, al igual que en 1842 (con Adhémar), no se estaba aún en condiciones de dar una datación precisa de la última glaciación y, por tanto, tampoco se podía verificar esa teoría. Con todo, Croll hizo una sugerencia, al proponer que las épocas glaciales se debían a inviernos fríos y que la acumulación de nieve traía, por su parte, un enfriamiento complementario; hoy en día se sabe que no es del todo correcto".

Como ha sucedido con muchas teorías, éstas vienen a ser complementadas, superadas o refutadas por otras. Así, las investigaciones de Croll sirvieron para la inspiración de otra teoría astronómica, que provino del astrónomo yugoslavo Milutin Milankovic.

### 3.1.2 Inclinación del eje terrestre

Milutin Milankovic, matemático serbio, en 1930 introdujo otro parámetro astronómico, aparte de los factores considerados por James Croll. Tomó en cuenta no solamente la variación de la excentricidad de la órbita terrestre, sino también la inclinación del eje de rotación de la Tierra con respecto al plano de la eclíptica. Esta inclinación en la actualidad vale  $23.45^\circ$ , pero en el transcurso del tiempo oscila entre  $21.8^\circ$  (más próxima a la vertical) y  $24.6^\circ$  (máxima inclinación) a lo largo de un período de 41,000 años.

La variación del eje de la Tierra desde un máximo hasta un mínimo y nuevamente a un máximo, con un movimiento como si se bambolease arriba y abajo, se llama nutación. Durante los últimos 10,000 años, el rango de inclinación ha venido disminuyendo, lo que significa que las diferencias entre las estaciones son menos extremas en la actualidad. Así, ahora los inviernos son un poco más templados y los veranos un poco más fríos.

Una de las contribuciones más importantes que realizó Milankovic con su teoría fue la incorporación de una idea que le sugirió el climatólogo alemán Wladimir Köppen. Este decía, que lo que realmente conduce a una glaciación es una reducción de la insolación en verano, y no una sucesión de inviernos muy fríos (como afirmaba Croll).

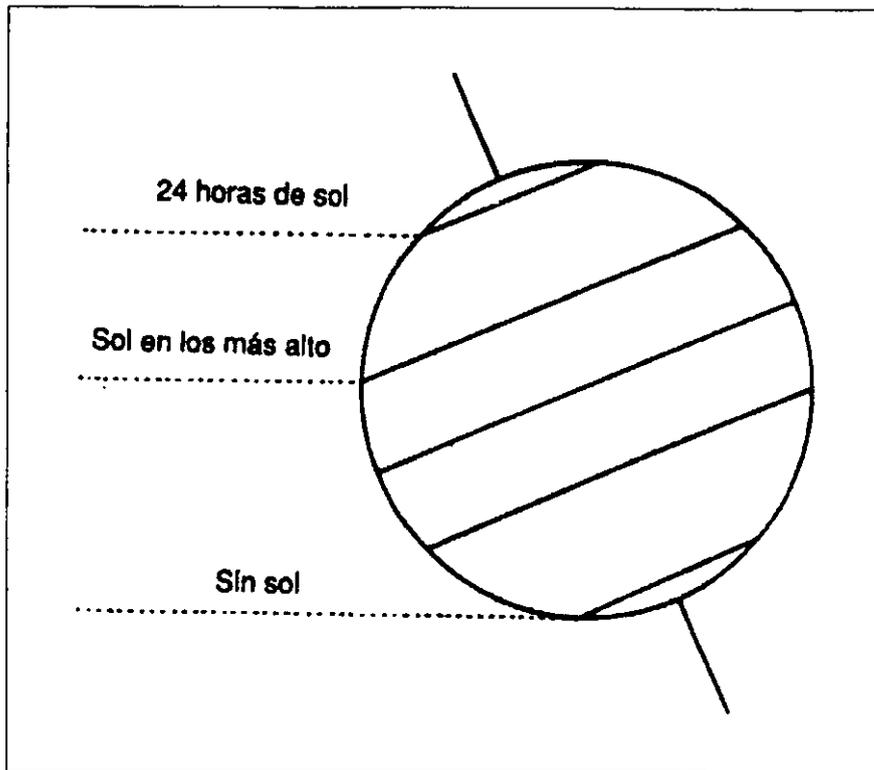


Figura 3.2. Inclinación del eje de la Tierra. Su variación a lo largo del tiempo motiva a presentar distintas posiciones latitudinales con respecto al Sol. Este efecto produce fluctuaciones en el clima.

De acuerdo con la idea de Köppen, con veranos más fríos, se logra extender en mayores espacios los mantos de nieve, a su vez, éstos reflejan más energía solar (con un albedo de casi el 80%), lo que produce el crecimiento de los glaciares, pues la nieve caída en el invierno anterior apenas se fundiría durante el verano y la nieve del siguiente invierno caería sobre ella. Con este mecanismo se llega a un enfriamiento que provoca una edad de hielo.

Milankovic llevó a cabo, por espacio de 20 años, trabajos muy arduos; consiguió calcular las variaciones de la luz solar de la Tierra en los últimos 600 mil años. Los cálculos los realizó a los 5°, 15°, 25°, 35°, 45°, 65° y 75°, de latitud norte. Con este trabajo se convenció de que la forma de las curvas de insolación que calculó, sobre todo para las latitudes comprendidas al norte de los 60°, concordaban muy bien con los datos geológicos de las glaciaciones: los veranos fríos del hemisferio norte coincidían con los máximos de la época de hielo. Al final encontró que los ciclos 22,000, 100,000 y 41,000 concordaban con los periodos glaciales.

Milankovic también creyó demostrar que las variaciones de la insolación, latitud por latitud (debidas a la inclinación del eje terrestre), motivaban los cambios climáticos en las altas latitudes, mientras que las oscilaciones en las bajas latitudes se explicaban mejor con el efecto de precesión de los equinoccios que dura aproximadamente 22,000 años.

Hasta la década de los cuarenta, esta teoría astronómica fue muy aceptada por los científicos; pero ya en los cincuenta, los nuevos hallazgos geológicos comenzaron a discordar con las escalas del tiempo, lo que condujo a reajustar las interpretaciones climáticas. Este fue el motivo por el cual muchos investigadores abandonaron las ideas de Milankovic.

Como casi siempre, de todas las nuevas teorías surgen argumentos en favor o en contra de las mismas. Las críticas en muchas ocasiones contribuyen a refutar lo falso, pero en otras, sirven para afinar o perfeccionar el conocimiento. Con respecto a los trabajos propuestos por Adhémar, Croll, Milankovic y otros científicos, existen algunos puntos de vista.

Le Roy (1991), comenta: "algunos investigadores han sido poseídos por la ciclomanía para explicar las fluctuaciones del clima. Ahora, los climatólogos se interesan cada vez menos en la existencia de fenómenos cíclicos de duración invariable en un eterno retorno de los climas. Pero no se puede negar la posibilidad teórica de peridiocidades regulares".

Así pues, en opinión de Le Roy, los eventos climáticos no se presentan de manera homogénea (obedeciendo a ciertos ciclos), sino que los períodos glaciales e interglaciales son, en cada episodio, diferentes en duración, frecuencia, intensidad y magnitud.

Bryson y Murray (1985), dicen: "Milankovic no fue capaz de tomar en cuenta algunos factores importantes, tales como el papel de la atmósfera con sus movimientos de aire, así que simplificó la situación en exceso".

El argumento de estos autores es muy valioso, porque para explicar las fluctuaciones climáticas, se tienen que contemplar muchos otros factores, en este caso, la circulación atmosférica y otros fenómenos básicos, para comprender la distribución de la energía calorífica en todo el planeta, y de esta forma inferir mejor las situaciones del clima.

Griffiths (1985), menciona: "la importancia que dio Milankovic a sus cálculos ha sido puesta en duda, pues los patrones en los dos hemisferios a latitudes comparativas no coinciden, por lo cual recientemente se han elaborado otros patrones en los que se da mejor correspondencia entre las curvas (datos de insolación latitudinal) y los períodos glaciales conocidos".

Como se aprecia, esta teoría no satisface del todo a algunos investigadores, pero queda claro que respetan los lineamientos estructurales, por lo que se han tenido que investigar otros factores que coadyuven a mejorar los ángulos vulnerables de los anteriores planteamientos.

En las últimas décadas, varios científicos continúan investigando la teoría de Milankovic, y han aportado mejores bases para explicar los períodos glaciales e

interglaciales, siguiendo los ciclos astronómicos.

Los investigadores Berger y Kukla citados por Griffiths (1985) publicaron un artículo en 1981, donde dieron a conocer sus aportaciones a la teoría astronómica. Mencionan que en los últimos 350,000 años sólo han habido cuatro períodos interglaciales que comenzaron hace 335,000, 220,000, 127,000 y 11,000 años. La característica más importante del estudio estriba en que los períodos interglaciales recientes se iniciaron cuando la inclinación terrestre ocurría alrededor de 24.6°. Aseguran que ambos efectos son indispensables, porque si sólo actúa uno, el deshielo no se lleva a cabo.

Así pues, los períodos interglaciales se producen cuando el máximo de calor se da en verano del hemisferio norte: la época estival se convierte en la estación clave. Como se dijo, los veranos más o menos fríos en el hemisferio norte permiten que la nieve se acumule en capas tanto en la tierra como en el mar y no se funda con facilidad. En tanto, el hemisferio sur podría encontrarse en una glaciación como consecuencia de su configuración continental, pues, muy al sur no penetran corrientes marinas capaces de fundir el hielo. Y concluyen que la pauta de la temperatura en el ámbito mundial está regida por las condiciones físicas del hemisferio norte.

De acuerdo con el enfoque anterior, el hemisferio sur depende de las manifestaciones climáticas que se presenten en el norte. Haciendo énfasis que la circulación de las corrientes marinas tienen gran participación para efectuar ese efecto.

Los enunciados de Milankovic siguen siendo objeto de polémica de muchos científicos, tal vez porque las bases teóricas realmente no son lo suficiente sólidas para tomarse en cuenta. Empero sólo en el futuro, probablemente no muy lejano, se podrán comprobar los aciertos o las anomalías de esta teoría.

### 3.1.3 Actividad solar

La constante solar se define como la cantidad de energía electromagnética que llega al límite superior externo de la atmósfera terrestre, y vale 1.94 calorías-gramo (cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14.5°C a 15.5°C) por centímetro cuadrado y por minuto.

Garduño (1988), dice: "según antiguas creencias, el Sol era perfecto e inmutable, se creía que emitía siempre la misma cantidad de radiación; sin embargo, esto no es completamente cierto, por ejemplo, sabemos que en lapsos de minutos a horas varía hasta en 0.05%, y que de días a meses la variación es diez veces mayor.

También se sabe que a lo largo de toda la vida del Sol, éste ha estado creciendo. Hace unos 3,500 millones de años el astro era un 8.5% más pequeño y su luminosidad era de un 3 a 4% menor que actualmente, lo que indica que la constante solar era menor en relación con lo que sucede en la actualidad.

El Sol tiene una temperatura en su núcleo de unos 20 millones de grados centígrados; esta temperatura disminuye rápidamente hacia la superficie, donde alcanza alrededor de 6,000°C. Las elevadas temperaturas del Sol permiten reacciones termonucleares, como la fusión de átomos de hidrógeno, lo que da lugar a la formación de átomos de helio. Al producirse estas reacciones se originan fenómenos convectivos, es decir ascensos de energía hacia la superficie y el espacio interestelar.

La conversión de hidrógeno en helio para producir energía origina una constante disminución de hidrógeno con el consiguiente incremento de la luminosidad durante un período. Este aumento de luminosidad a largo plazo es pequeño, pero según algunos meteorólogos es suficiente para producir alteraciones climáticas.

Otaola (1988), comenta: "los modelos climáticos sugieren que las variaciones de tan sólo 1 ó 2% en la luminosidad solar tienen fuerte repercusión en el clima. Así, la actividad solar no es constante. Las pequeñas fluctuaciones en la energía solar presentan intervalos regulares a través de los años".

En el Sol aparecen, en ciertos períodos, manchas oscuras que aumentan o disminuyen, siguiendo un ciclo de 11 años aproximadamente llamado ciclo solar. La polaridad magnética solar se invierte cada 11 años y este cambio coincide con el máximo de actividad solar. Se cree que las variaciones de la constante solar están asociadas con este ciclo, aunque todavía no se dispone de suficientes datos para demostrarlo.

Desde que se descubrió que las manchas solares estaban asociadas a fuertes campos magnéticos surgió otro ciclo magnético de doble ciclo solar, que tarda alrededor de 22 años en completarse. Se han detectado también ciclos de 80 y 180 años. Este último es atribuido a las mareas solares que se deben a la atracción gravitacional con los planetas. Se observan variaciones menores de 8, 7, 5.1 y 2.2 años.

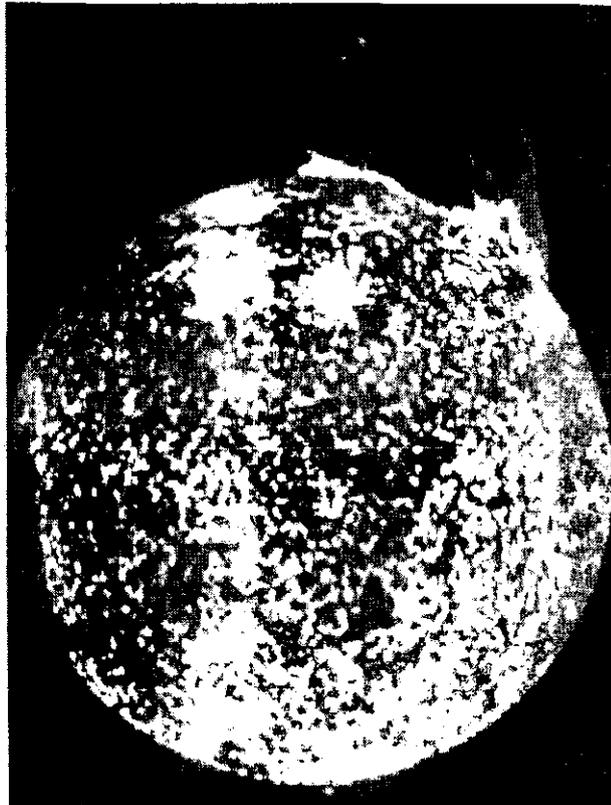


Figura 3.3 Protuberancias solares. Durante las explosiones solares, las ráfagas llegan a alcanzar hasta 240 mil kilómetros. Este fenómeno y las manchas son evidencia de una actividad muy fuerte dentro del Sol. Ciencia y desarrollo 1988.

Las manchas solares ya eran conocidas por los antiguos astrónomos griegos y chinos, pero Galileo fue el primero en observarlas por un telescopio. Pero fue hasta 1843 cuando el astrónomo alemán Heinrich Schwabe señaló la existencia de un ciclo de 11 años. En la actualidad es sabido que el ciclo de manchas solares no es totalmente exacto, sino que fluctúa entre 9 y 14 años.

Ratcliff (1972), agrega: "la superficie del Sol aparece a veces agitada por repentinas explosiones. La intensidad de la luz aumenta rápidamente en menos de un minuto y después disminuye lentamente hasta adquirir un valor normal, después de media hora. Dicho fenómeno ocurre en las proximidades de una mancha solar. Esto corresponde a una gran liberación de energía, acompañada de perturbaciones en la atmósfera terrestre".

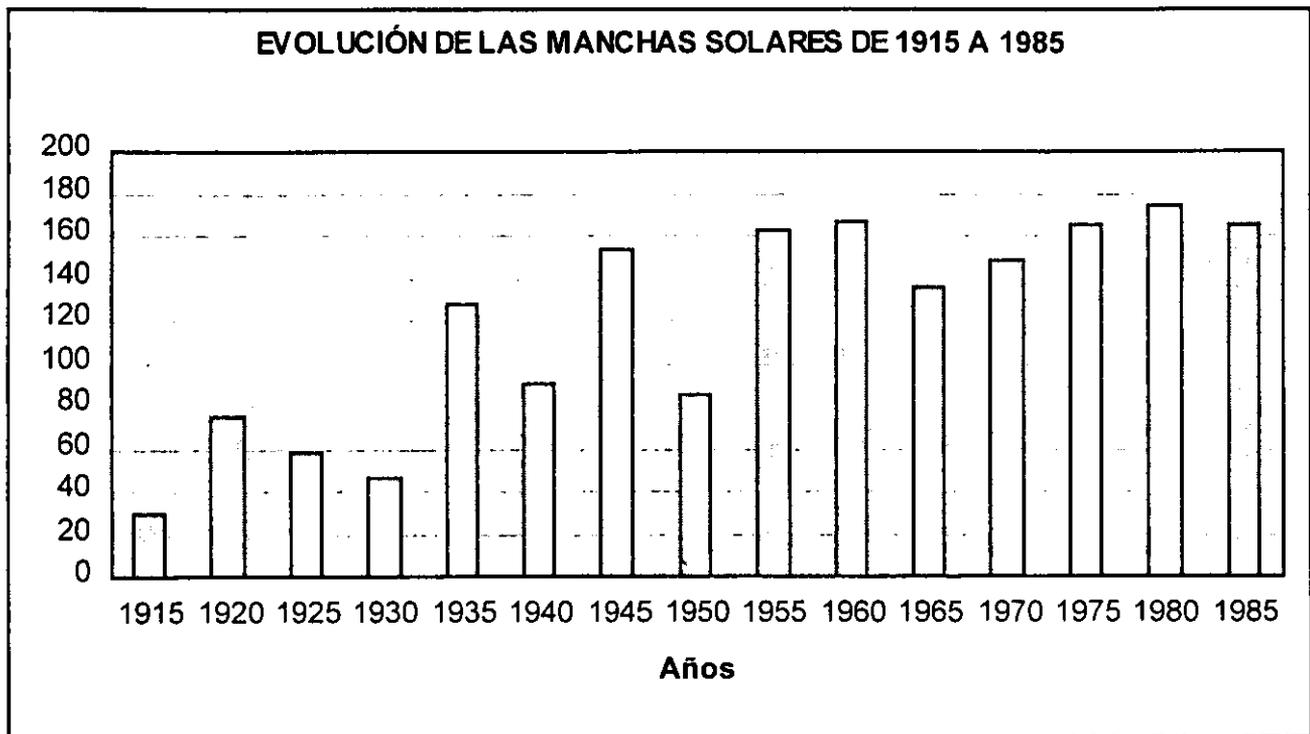
En 1894, el astrónomo inglés Walter Maunder hizo el descubrimiento de una interrupción de 70 años en la actividad de las manchas solares, desde 1645 hasta 1715. Hoy en día se conoce a ese tiempo como Mínimo de Maunder, que estuvo relacionado en la parte más fría del Pequeño Período Glacial. Fue una época relativamente fría que afectó de manera apreciable a Europa y América del Norte.

Bravo (1988), explica: "en la década de los setenta, el astrónomo estadounidense John

Eddy encontró una coincidencia entre las manchas solares y el clima. Menciona que durante la Pequeña Edad Glacial, entre 1645 y 1715, corroboró la ausencia de manchas solares. Este investigador recabó datos de registros chinos. También estudió las auroras polares, pues estos fotometeoros no se forman cuando la actividad solar es baja ".

Eddy al estudiar las relaciones entre el clima y la radiación solar hasta 7,000 años atrás, descubrió que en el pasado remoto hubo varios períodos semejantes al Mínimo de Maunder, los cuales parecen coincidir siempre con épocas de clima especialmente frío. Advirtió también que las épocas de las altas temperaturas en la Tierra se desarrollaban en períodos prolongados de la actividad solar elevada.

Como ya se dijo, un elevado número de manchas solares indica que el Sol está muy activo, incluyendo las protuberancias provocadas por la actividad termonuclear y el incremento del viento solar hacia el espacio interplanetario. Gribbin cita que Schneider (1970), descubrieron que las fluctuaciones térmicas en la Tierra a lo largo del tiempo se pueden explicar muy bien tomando en cuenta el calor que recibe la superficie terrestre por este fenómeno.



Gráfica 3.1  
Fuente: Gribbin 1986.

En la gráfica 3.1 se observa que a principios del siglo XX la actividad solar fue relativamente escasa, pero a partir de la década de los treinta han aumentado de manera general las manchas del astro. Esta manifestación coincide con el supuesto incremento de la temperatura a nivel mundial.

Otaola (1993), argumenta: "tan sólo una variación entre uno y dos por ciento en la luminosidad solar presenta fuerte repercusión en el clima de la Tierra. La dinámica del Sol es muy cambiante, pues a lo largo del tiempo manifiesta discrepancias muy notorias. Los investigadores concluyen que el Sol es un factor externo a la Tierra muy importante para explicar las variaciones climáticas".

El investigador Gribbin también se suma a la lista de los que opinan que las variaciones atmosféricas tienen que relacionarse primordialmente con la actividad solar.

Gribbin (1986), proclama: "en la actualidad es conocido que un gran número de manchas en el Sol indican una creciente actividad de fulguraciones con un notable movimiento de chorros de partículas a través del espacio en lo que se conoce como viento solar, mientras que la ausencia de manchas, por el contrario, implica Sol tranquilo y débil viento solar. Los últimos resultados de investigación revelan que cuando el Sol está tranquilo, la Tierra está fría". Así pues, se ha encontrado que los períodos en que presenta el Sol un elevado número de manchas solares (máximo de actividad solar) coinciden con épocas de máxima temperatura en la Tierra y también se observa un comportamiento anómalo de otros fenómenos atmosféricos, pero cuando nuestra estrella está en calma, las temperaturas descienden ligeramente".

Schneider (1970) citado por Gribbin (1986), descubre en sus estudios que la temperatura en la Tierra a lo largo de los pasados tres siglos se puede explicar bien si la cantidad de calor que alcanza la superficie terrestre varía acompasadamente con el número de manchas solares.

Erickson (1992), argumenta: "en los años ochenta, investigadores chinos estudiaron los registros de las manchas solares de unos 5,000 años atrás y concluyeron que en la época que se considera de Período Frío Glacial (siglo XVI-XIX) no tiene suficientes fundamentos para relacionarlo con las manchas solares; pues critican que el estudio del estadounidense Eddy, es resultado de un insuficiente acopio de datos en una época de confusión en Europa a consecuencia de un caos político".

Otaola (1993), opina: "consideramos a la variabilidad solar como uno de los principales agentes externos causantes de cambios en el clima, desde un año hasta miles de millones de años; se puede advertir que muchos de los cambios observados en éste se han explicado adecuadamente sin necesidad de recurrir a cambios solares como factor causal. De hecho, en lapsos muy largos se sabe que hubo épocas en las cuales el clima en la Tierra era muy similar al de nuestros días, aun cuando la energía proveniente del Sol resultaba considerablemente menor".

Sin embargo, concluye en su concepción entre la actividad solar y el clima, diciendo: "es claro que en el tiempo y el clima confluyen múltiples factores, algunos internos y otros externos, que operan sobre un sistema extremadamente complejo, en un enorme rango de escalas temporales. Pero lo que los meteorólogos no pueden

descartar es que dicho sistema está dominado de manera considerable por un factor externo: el Sol".

### 3.1.4 Impacto de asteroides

Los asteroides o meteoritos son cuerpos sólidos, constituidos de hierro, níquel y sílice; proceden del espacio exterior y llegan a la superficie terrestre. Al entrar en contacto con la atmósfera dan lugar a fenómenos luminosos, como las "estrellas fugaces".

En ocasiones la Tierra atraviesa un conjunto de meteoritos, lo que motiva mayor probabilidad a que penetren al campo de atracción de ésta. Uno de cada diez de estos cuerpos alcanza la atmósfera de la Tierra, cuyas masas generalmente son superiores a 100 gramos y sus velocidades superan los 50 km/s.

Kepler (1986), expresa: "en la actualidad existen unos 700 asteroides con diámetros superiores a un kilómetro (objetos de Apolo), cuyas órbitas cruzan la órbita terrestre. Estos serían los candidatos para formar sobre la Tierra (en los próximos milenios) grandes cráteres, como por ejemplo, el de Arizona, llamado Great Meteor Crater, formado probablemente hace unos 50,000 años".

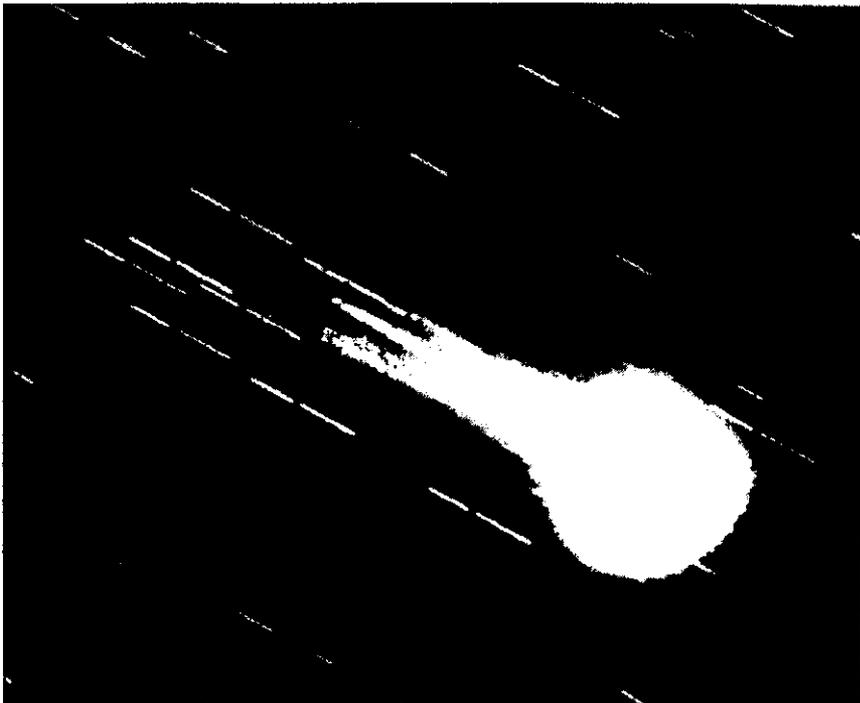


Figura 3.4 Trayecto de un meteorito. El origen de estos cuerpos procede probablemente de un conjunto de asteroides que existió entre Marte y Júpiter. Revista de Revistas 1988.

Un impacto de este tipo, constituye una violenta catástrofe natural para el medio ambiente del planeta. Aunque un meteorito se volatiliza en parte durante su viaje a través de la atmósfera, en caso de llegar al suelo explota produciendo un gran cráter

que puede alcanzar varios kilómetros de diámetro. El material que se desprende del suelo, puede ser lanzado a grandes alturas de la atmósfera, y la situación puede ser similar a la de una violenta erupción volcánica, como la del Tambora en 1815.

Crowley (1988), menciona: "cuando un enorme meteorito golpea la Tierra se levanta una gran cantidad de sedimentos similares a una explosión nuclear subterránea. Los materiales más finos son impulsados muy alto en la atmósfera, mientras que los fragmentos de mayor tamaño caen alrededor del perímetro del cráter y forman un reborde circular alto y abrupto. Las ondas de choque también desintegran los materiales y aumenta el polvo".

Durante la historia de la Tierra han ocurrido grandes catástrofes que dieron lugar a la extinción de muchas especies vegetales y animales, como fue el caso de los dinosaurios al final del Cretácico, hace unos 70 millones de años.

Arbolí (1988), dice: "en 1978 un grupo de geólogos de la Universidad de California, señaló que entre el Cretácico y el Terciario ocurrió una extinción masiva de especies animales, entre ellas los dinosaurios. Al examinar los estratos geológicos en los Apeninos (Italia): en un cañón que fue fondo marino se percataron de que en la época de transición entre los dos períodos, los sedimentos mostraban gran cantidad de iridio, metal poco abundante en la superficie terrestre y en el sistema solar; mientras que en los asteroides es muy abundante".

Fue al percatarse de la abundancia del iridio en los meteoritos lo que llevó, en 1980, al grupo de científicos a proponer la teoría de que ocurrió un tremendo choque de algún meteorito con la Tierra. Dedujeron en consecuencia que solamente un enorme asteroide de unos 10 kilómetros de diámetro podía dar tanto iridio. Formularon también la idea de que la oscuridad producida por las nubes de polvo duró bastante tiempo para poder matar a dichas especies.

Se dice que después de un tiempo, las plantas comenzaron a surgir de nuevo gracias a las semillas pero los animales, al no haber alimento, se extinguieron. La evidencia del iridio en sedimentos es usada para apoyar la teoría de que la Tierra fue alcanzada por un gran asteroide al final del Cretácico, y su impacto impulsó enormes cantidades de partículas a la atmósfera superior y produjo incendios de los bosques cuyas cenizas impidieron la libre entrada de la radiación solar, lo que hizo bajar la temperatura durante varios meses.

Se ha calculado que el impacto de un cuerpo de 10 kilómetros causaría en la superficie terrestre un cráter de unos 50 kilómetros de profundidad (toda la corteza continental). Tal es el caso del cráter de Sudbury, en Ontario Canadá, perteneciente al período Precámbrico. La temperatura que tal choque produciría sería de unos 20,000°C (según Arbolí), o sea cuatro veces la temperatura de la superficie del Sol. Se cree que instantes después del impacto, el material lanzado a la atmósfera se elevaría unos 40 kilómetros. A los dos minutos del choque, habrían sido lanzados al aire unos 80,000 kilómetros cúbicos de roca.

Keppler (1986), menciona: " se ha calculado que los meteoritos de grandes dimensiones (mayor a un kilómetro de diámetro) tienen una probabilidad de choque con la Tierra de 200 millones de años y, dice que cada 100 millones de años penetra a la atmósfera terrestre un objeto similar con un diámetro de por lo menos 10 kilómetros. También menciona que un grupo de científicos de la Universidad de California admite que el iridio se encuentra concentrado en el núcleo de la Tierra, siendo escaso en la superficie. Continúa diciendo: "hay que señalar que el iridio podría haber sido expelido por una fortísima erupción volcánica, y de hecho hay volcanes en Hawai que arrojan iridio".

Algunos científicos refutan el origen extraterrestre del iridio, ya que se le ha encontrado en las oquedades volcánicas, así como en las zonas de expansión de las placas tectónicas, por lo que la procedencia extraterrestre de este elemento queda en duda.

Sin embargo, hay que considerar también que la extinción de muchas especies del pasado geológico, ha sido explicada por teorías de reconocidos científicos, que con argumentos muy sólidos exponen las posibles causas de exterminio de vegetales y animales en épocas remotas.

Melendez (1980), opina: "la extinción brusca, aparente de los dinosaurios, al final del Cretácico, es un efecto de perspectiva temporal, pues una época distante de 70 millones de años, nos hace que aparezcan como muy próximos los acontecimientos que pudieron ocurrir a lo largo de algunos millones de años. En realidad, los dinosaurios no se extinguieron todos de "golpe", como a veces se ha pretendido, sino más bien, esto aconteció en etapas sucesivas, de la misma forma que ocurre en otros grupos biológicos".

Sepkoski, citado por Arbolí (1988) comenta: "la desaparición de especies es un fenómeno común; una especie desaparece quizá por extinción pero también por evolución y formación de una nueva especie que predomina sobre la anterior; pero las familias son conjuntos de especies correlacionadas y es más difícil que se extingan. En los últimos 250 millones de años han ocurrido extinciones unas tres o cuatro veces, durante las cuales desaparecieron grandes conjuntos de familias, todas al mismo tiempo".

Arbolí (1988), resume los efectos del impacto de un meteorito con la Tierra hace unos 70 millones de años de la manera siguiente:

- ◆ El polvo suspendido durante meses oscureció tanto el medio ambiente que se interrumpió la fotosíntesis y por ese solo hecho desapareció toda la cadena alimenticia.
- ◆ El polvo y la oscuridad tuvo que haber enfriado el clima en el mundo entero y de manera particular al interior de los continentes.

- ◆ En caso de que el impacto hubiera ocurrido en el mar se habría levantado una copiosísima columna de agua y vapor que habría recalentado la atmósfera, produciendo el "efecto invernadero".
- ◆ Si bien el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera no se mezclan, en caso de un calentamiento excesivo nada impediría su combinación. Aparecerían escenas dantescas de una lluvia ácida en medio de la oscuridad, el polvo y la caída de fragmentos de materiales antes lanzados al exterior.

En la actualidad se dice que el impacto del meteorito que ocurrió hace 70 millones de años pudo tener como escenario la parte norte del estado mexicano de Yucatán, lugar que parece tiene formas circulares como si se tratara de un posible choque con un cuerpo del espacio exterior; sin embargo, el levantamiento geológico de la península tuvo lugar hace unos 12 millones de años, por lo que las evidencias del asteroide tal vez no sean muy claras.

Estos son los argumentos de algunos científicos que tratan de explicar, con una teoría más, las variaciones climáticas a lo largo de la historia de la Tierra. La teoría del impacto de asteroides con la superficie terrestre y sus consecuencias en el clima, es relativamente reciente (1980); además es común que cuando aparece alguna idea renovadora del conocimiento, se pone en voga entre la ciencia para fortalecer algunas áreas del saber. Así, sólo en el futuro se sabrá por medio de mayores investigaciones, en este caso, el choque de material extraterrestre con la Tierra, sí lo expuesto en los párrafos anteriores tendría consecuencias en el clima.

### 3.1.5 Nubes de polvo cósmico

El sistema solar gira alrededor de la Vía Láctea y realiza una vuelta completa cada 200 millones años aproximadamente. En promedio cada 100 años se produce una explosión de una estrella gigante en uno de los brazos de la espiral de la galaxia. Se cree que el material al expandirse proyecta una gran cantidad de polvo hacia ciertas partes del sistema cósmico. Así, el sistema solar podría entrar en una de esas nubes de polvo. Pero esto ocurriría más o menos cada 100 millones de años. El material esparcido podría cubrir al Sol y así alterar la cantidad de luz solar que llega a la Tierra. Este fenómeno puede motivar algunas fluctuaciones climáticas en la Tierra.

Erickson (1992), opina: "una nube de polvo galáctico podría haber sido la causa de alguna de las épocas glaciales del pasado. Sin embargo, sería un período demasiado largo (100 millones de años) para explicar las épocas relativamente cortas de hielo, sobre todo las del Pleistoceno. También parece poco probable que el paso de un brazo de la galaxia con sus materiales, sea el causante del descenso de la temperatura del Cretácico hasta la actualidad.

Además, no existe evidencia que indique que las nubes de polvo sean lo

suficientemente densas para provocar el libre paso de la radiación solar hacia la superficie terrestre y, de esta manera, conduzcan a fluctuaciones climáticas.

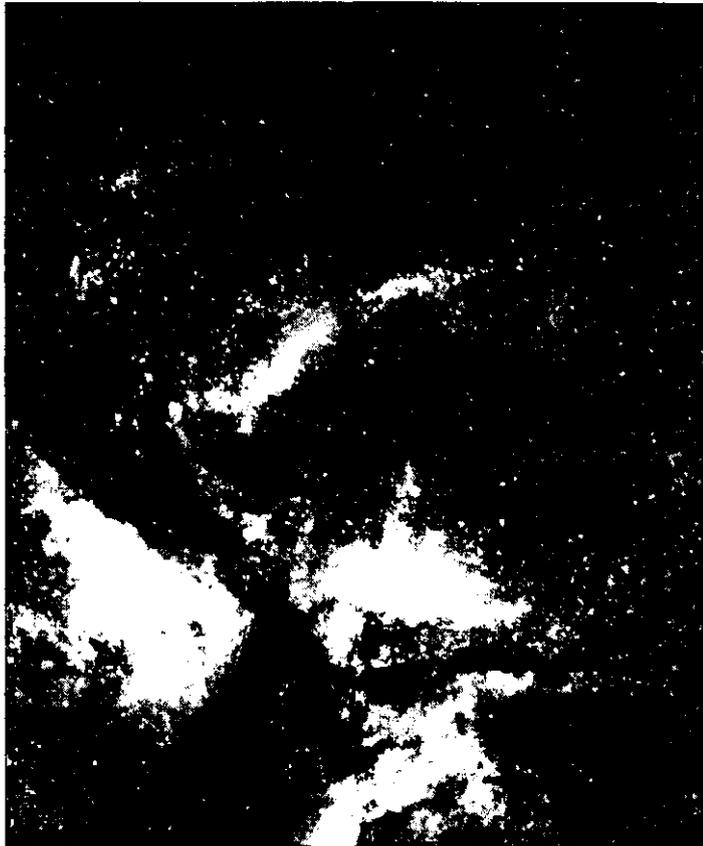


Figura 3.5 Materiales galácticos. El paso del Sol por el enjambre de materia cósmica puede perturbar a la atmósfera terrestre. Ciencia y Tecnología, 1990.

En la actualidad la teoría de polvo cósmico no tiene muchos seguidores, pues otras posturas explican mejor las variaciones climáticas en el globo, sobre todo los eventos glaciales; pero siempre es importante tener en cuenta que las nubes galácticas existen y, por tanto, hay posibilidad que en alguna época tengan interacción con la Tierra.

El astrónomo Hayle sostenía, en los años cincuenta, que durante el paso del Sol a través de una nube de polvo, la constante solar podría aumentar su valor normal. El exceso de emisión solar sería debido a la captura por el Sol de porciones de la nube. El material capturado cae con enorme velocidad hacia el centro del Sol, lo que aumenta su energía cinética y entonces se produce un exceso de emisión hacia el exterior.

Esta postura sugiere que el material de la nube cósmica, en lugar de obstaculizar la emisión de luz solar la absorbería para dar origen a una mayor actividad en el astro. Empero, hoy en día, se considera que el material galáctico conduce a una disminución de la temperatura en la superficie de la Tierra.

Arboli (1988), señala: "a medida que el Sol gira en torno al centro de la Vía Láctea pasa por el plano de la misma cada 33 millones de años y entonces es el momento en que hay mayor densidad de cuerpos celestes, como son gases y nubes de polvo, lo que puede interferir en el clima terrestre".

Se dice que, a un año luz del Sol, existe una nube de polvo llamada nube de Oort, y su material es perturbado cuando cada 26 millones de años una estrella "oscura" (todavía no observada) se acerca al Sol, y entonces la gravedad de dicha estrella hace que muchos cuerpos (cometas, meteoritos, polvos, etc.) salgan de sus órbitas, y así produzcan nubes de partículas que impedirían parcialmente el paso de las ondas electromagnéticas hacia la Tierra, ocasionado un enfriamiento climático.

La teoría de las nubes de polvo cósmico trata de explicar los eventos glaciales que han ocurrido en la Tierra; sin embargo, no se ha evaluado con precisión, la magnitud, ni la frecuencia con que pudieran presentarse las manifestaciones del fenómeno. Tampoco se pueden descartar los argumentos que la defienden ya que la Tierra, junto con el sistema solar, se desplazan incesantemente por el espacio de materia y energía del universo. Asimismo, sabiendo que la interacción de nuestro planeta con material extraterrestre es relativamente remoto, los efectos en el clima serían a muy largo plazo y probablemente leves.

### 3.1.6 Influencia de los sínodos

Los sínodos representan el momento en que dos planetas o más se ponen en conjunción, es decir en el mismo ángulo de la eclíptica. El tiempo que transcurre para que todos los planetas del sistema solar queden alineados es de aproximadamente 179 años. Así, se dice que al cabo de este tiempo la Tierra de halla a un lado del Sol y el resto de los planetas se encuentran en el lado opuesto.

Erickson (1992), expone: "se ha especulado sobre la posibilidad de que el ciclo solar (11.2 años de máxima actividad), esté regulado por las fuerzas gravitacionales de los planetas, especialmente los planetas interiores y Júpiter. A lo largo del siglo XX, la alineación de los planetas interiores a un lado del Sol pareció producir diferente número de manchas solares, lo que no ocurrió cuando los planetas estaban simplemente dispersos".

Cuando los planetas se colocan en conjunción al mismo lado del Sol, su atracción gravitacional induce a la creación de ciertas protuberancias del material solar, es decir, una especie de mareas, como sucede entre la Tierra y la Luna. El momento de los sínodos parece tener cierta influencia en las mareas solares lo que permite irradiar más materia hacia el espacio interestelar. Este mecanismo puede repercutir en el clima de la Tierra.

Se sabe que la órbita de Júpiter alrededor del Sol tiene una duración de 11 años 10 meses aproximadamente. Este ciclo casi coincide con el período solar. Tomando en

cuenta que ese planeta es el más grande del sistema solar, podría ser el que tenga mayor influencia en la exaltación del Sol. No obstante, cuando se alinean todos los planetas es cuando los efectos son más elocuentes en el Sol, la Tierra y probablemente en los demás astros.

En los años ochenta, investigadores chinos declararon que durante las alineaciones planetarias se afectaron las condiciones atmosféricas de la Tierra. Los sínodos coinciden con los mínimos y los máximos solares, así como con los ascensos y descensos de la temperatura en la Tierra. De esta manera, se infiere que cada 179 años, nuestro planeta experimenta un calentamiento inusitado como consecuencia de la actividad solar. Jones (1992) dice que el último sínodo ocurrió en el mes de octubre de 1982.

## 3.2 Teorías terrestres

Las teorías terrestres son todas aquellas que tienen sus bases en las tesis que comprenden a los fenómenos que se originan en el interior o en la superficie de la Tierra y cuyos efectos tienen repercusiones en el tiempo atmosférico y el clima. Algunas de ellas son: las erupciones volcánicas, las placas tectónicas, la deriva continental, oscilaciones del campo magnético de la Tierra, ventilas hidrotermales, efecto invernadero, etc.

### 3.2.1 Erupciones volcánicas

La emisión de los materiales volcánicos a la atmósfera de la Tierra da como consecuencia alteraciones considerables en el medio ambiente. Durante las erupciones, las nubes de polvo y cenizas pueden elevarse hasta la estratosfera (20 ó 50 kilómetros de altura) donde se esparcen en áreas mayores; y esta capa de partículas es capaz de obstaculizar parte de la energía solar, lo que induce a una disminución de la temperatura en algunas regiones del planeta y, por tanto, se alteran los sistemas del clima. La idea de que las erupciones volcánicas puedan afectar al tiempo y al clima, fue propuesta por Benjamín Franklin en 1789.

Flohn (1970), expresa: "las grandes erupciones volcánicas que arrojan partículas de polvo al aire afectan la permeabilidad de la radiación que llega a la atmósfera y a la superficie terrestre. El polvo manifiesta su presencia en el aire de varias formas. Las partículas de un diámetro inferior a 1 micrón tienen una velocidad de caída muy baja, y las inferiores de 0.1 micrones, permanecen en suspensión por un tiempo que comprende entre 5 y 10 años. El efecto de los materiales volcánicos en la atmósfera consiste en una absorción o reflexión de la radiación solar, que puede ser hasta del 10 o más".

El mismo investigador sostiene: "las partículas de polvo volcánico, localizadas en la parte baja de la troposfera, tienden a motivar un calentamiento del aire (efecto

invernadero), en cambio en la parte superior de la atmósfera provocan un enfriamiento en la superficie terrestre".

Los polvos más pequeños que se mantienen en la estratosfera, como ya se dijo, son los causantes de un descenso de la temperatura, porque las partículas mayores que por un tiempo pueden permanecer en la troposfera, sirven como núcleos de condensación y pronto son arrastradas por las precipitaciones.

Como menciona Flohn, durante las erupciones volcánicas también podría incrementarse el efecto invernadero natural, pues los gases que se arrojan al aire, son precisamente los que provocan este fenómeno. Según Breuer (1987), la composición media de los gases volcánicos es la siguiente:

#### COMPOSICIÓN PROMEDIO DE LOS GASES VOLCÁNICOS

COMPONENTE PRINCIPAL	PORCENTAJE
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	80.0%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	12.0%
Anhídrido carbónico (SO <sub>2</sub> )	7.0%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	1.0%

Cuadro: 3.1

Fuente: Breuer, 1987.

Como se observa en el cuadro, los dos mayores porcentajes corresponden al vapor de agua y al dióxido de carbono, por lo que se infiere que estos gases presentes en la capa inferior de la troposfera deben incrementar las temperaturas en algunas regiones geográficas.

Lamb (1982), afirma: "el polvo volcánico tiene un efecto de invernadero. El dióxido de carbono permite la entrada de mayor parte de la luz del Sol pero bloquea el calor del suelo. El polvo hace lo contrario, obstaculiza la radiación solar, pero tiene menos capacidad para mantener adentro el calor de la Tierra. El efecto de "invernadero invertido" depende del tamaño de las partículas de polvo. Las partículas grandes pueden conservar algo de calor. Las más pequeñas se quedan por más tiempo en la atmósfera y producen el mayor "efecto invernadero invertido". Así que el polvo actúa para enfriar la atmósfera inferior y el dióxido de carbono la calienta. Pero el mayor efecto lo produce el polvo, porque impide la entrada de mayor cantidad de luz a la superficie terrestre.

Por otra parte, los polvos volcánicos desprendidos a la atmósfera dan lugar a coloridos y muy vistosos atardeceres en varias regiones. Estos efectos, según Flohn,(1970), duran entre 1 y 5 años, lo que hace suponer los períodos de duración de estos materiales en las capas gaseosas.

Kenneth (1990), afirma: " uno de los primeros hombres que se dieron cuenta de que el clima de la Tierra estaba sujeto a la influencia de las variaciones de turbidez de la atmósfera superior fue Benjamín Franklin, observó que durante el otoño de 1783 se enturbió la atmósfera en Norteamérica, oscureciendo el Sol de tal forma que no se podía encender fuego concentrando los rayos solares con una lente de aumento. Supuso que esta niebla era el resultado de una erupción volcánica gigante, que probablemente había tenido lugar en la costa de Islandia".

Franklin en cierta forma acertó, pues en 1783 entraron en erupción el volcán Skaptar Jokull, en Islandia, y el Asamayama, en Japón. No obstante, el posible significado del papel de las erupciones volcánicas en ese momento no atrajo la atención a la ciencia, fue hasta las colosales explosiones del Tambora y del Krakatoa, ambos en Indonesia, cuando los científicos comenzaron a estudiar con mayor intensidad sus efectos en la Tierra.

Garduño (1994), menciona: "en 1991 se descubrió que la caldera Toba de Indonesia protagonizó la mayor explosión volcánica del Pleistoceno, hace 75 mil años. Este suceso telúrico lanzó al aire miles de kilómetros cúbicos de material y dejó un hoyo de 100 kilómetros de largo por 30 de ancho; la explosión inyectó a la estratosfera partículas y aerosoles que bloquearon los rayos solares, lo que condujo a un enfriamiento del planeta".

Una de las erupciones más violentas que han ocurrido en los últimos siglos fue la del volcán Tambora en 1815. Durante más de un mes se sucedieron enormes explosiones que se calcula liberó unos 60 kilómetros cúbicos de materiales. Se cree que antes de la explosión existía un cono de cerca de 4,000 metros; en la actualidad la cima se alza a los 2,600 metros de altitud, con un cráter de 7 por 8 kilómetros, y pruebas de estos materiales se encontraron años más tarde en Groelandia y la Antártida.

Labeyrie (1988), comenta: "en los años 1815-16 (período de los efectos del Tambora), en Europa, las crónicas no parecen haber informado nada extraordinario; 1812 fue el año de Guatearlo y es comprensible que los europeos tuvieran la cabeza en otra parte en esos años. Pero en Estados Unidos se descubrió, en años recientes, al revisar documentos de la época, que se había producido un fenómeno climático extraño: en 1816, en Nueva Inglaterra no hubo verano. No sólo las cosechas no llegaron a madurar, sino que nevó en pleno mes de agosto, cosa nunca vista hasta entonces. Es probable que ese enfriamiento temporal haya sido provocado por el efecto de pantalla térmica del polvo del Tambora".

Como resultado de la gran cantidad de material lanzado a la atmósfera por el Tambora en 1815, Lebeyrie (1988), comenta lo siguiente: "junio de 1816, resultó evidente que aquel año iba a ser muy distinto a cuantos se recuerda. El mes empezó, como le correspondía, con temperaturas por encima de los 25°C; pero el día 5, un viento impetuoso y frío, procedente de la bahía de Hudson, se precipitó por el valle del San Lorenzo e irrumpió en Nueva Inglaterra. Densas lluvias, sacudidas por ráfagas violentas azotaban la región, día y noche, mientras la temperatura descendía

implacablemente. En Bennington, Vermont, ese día nevó desde casi el amanecer hasta media tarde. Al cesar la tormenta, en Quebec había más de 30 cm de nieve, y más de 15 en Nueva Inglaterra. Fue como un granjero anotó en su diario, el tiempo más tétrico y singular jamás visto. Pasaron las semanas y el extraño tiempo invernal, empeoraba. La temperatura en la mayor parte de los días rondaba los 0°C. Esto aconteció en julio, agosto y septiembre".

Gribbin (1992), indica: "en 1816, en las latitudes medias del hemisferio norte, las temperaturas fueron aproximadamente 1°C más bajas que la media de muchos años en aquella época, y los datos de algunas regiones de Inglaterra sugieren una temperatura media de verano de 3°C por debajo de lo normal".

Pero unos años antes, en 1811 y 1813, otros volcanes ya habían producido grandes nubes de polvo que se encontraban quizás en las partes altas de la troposfera. Se dice que Napoleón retrocedió frente a los rusos, en 1812, debido a un invierno muy crudo. Por lo que se cree que dicho invierno fue producto de la actividad volcánica.

Kenneth, (1990). citan: "en 1913, Humphreys, realiza un estudio de las relaciones entre las erupciones climáticas y la actividad solar, y dice: durante los periodos con poca actividad volcánica y con un número alto de manchas solares, la temperatura media mundial se eleva. Las erupciones del Skaptar y el Asamayama fueron la causa del mínimo de temperatura media mundial en 1785; de no ser por tales erupciones hubiéramos esperado un máximo de temperatura en 1784, según se deduce por el máximo de manchas solares. Del mismo modo, la erupción del Tambora coincide con un año en que habría que esperar un mínimo de temperatura según el ciclo de pocas manchas solares; el efecto se combinó y produjo la excepcional amplia depresión de temperaturas en 1815-1816".

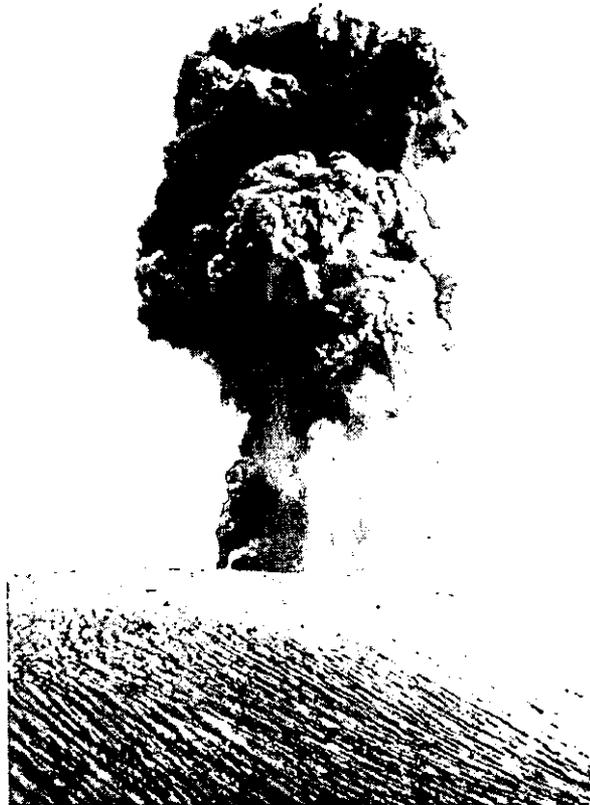


Figura 3.6 Erupción volcánica. Las explosiones violentas expulsan los materiales a elevadas alturas de la atmósfera, lo que puede desencadenar un periodo relativamente frío en algunas regiones del planeta. Decker and Decker 1981.

De lo anterior se infiere que el estudio de las relaciones entre la actividad solar con las erupciones volcánicas puede ser muy significativo para atribuir a lo largo de la historia periodos cálidos y periodos gélidos.

Otra impresionante erupción volcánica, ocurrió el 27 de agosto de 1883, en la isla de Krakatoa. Se ha calculado que lanzó unos 55 km<sup>3</sup> de rocas, polvo y cenizas a la atmósfera. La nube de cenizas y polvo pudo alcanzar una altura de 60 km, extendiéndose varias semanas después por varias regiones del mundo. En el Observatorio de Montpellier, en el sur de Francia, los astrónomos registraron en los tres años siguientes, un 10% de la radiación solar por debajo de lo normal.

A pesar de que la explosión del Krakatoa se considera en un tercio de lo que fue la del Tambora; su potencia fue equivalente a la explosión simultánea de 3,000 bombas atómicas, como las que fueron lanzadas en Hiroshima en 1945. El ruido de la explosión se oyó hasta en Madagascar, a casi 5,000 km de distancia, y originó gigantescas olas (tsunamis) de más de 90 metros de altura.

Después de la gran explosión, las partículas en forma de nube de polvo se propagó principalmente hacia el oeste; los vientos alisios se encargaron de dispersar dichos materiales, cubriendo en cuatro semanas desde las zonas ecuatoriales hasta las

templadas (Europa y Norteamérica). En los meses posteriores se observaron crepúsculos rosados y rojos, lo que condujo a la disminución de la insolación alrededor de un 20%. Este acontecimiento condujo a un invierno muy frío.

En el siglo XX, han ocurrido otras grandes erupciones volcánicas como la del monte Agung en la isla de Bali, el 17 de marzo de 1963, repitiéndose dos meses después, el 16 de mayo. Se consideró que el volcán había dado lugar a un descenso de 0.5°C en la temperatura media de la atmósfera inferior de la Tierra.

En relación con el decremento térmico por esta explosión, Erickson (1992), comenta: "sin embargo, se descubrió que la mitad de la caída de temperatura era el resultado de una gran cantidad de pruebas atómicas que se habían realizado en esa época (principios de los sesenta) y que también habían lanzado enormes cantidades de residuos a la atmósfera".

Otra erupción volcánica de gran envergadura, fue la ocurrida el 18 de mayo de 1980, en el monte Santa Helena, en el estado de Washington, Estados Unidos. El monte Santa Elena está asociado con los 15 volcanes más activos del sistema de la Sierra Cascada, que se extiende desde el norte de California hasta el sur de Columbia Británica. La explosión voló el tercio superior de la cumbre de la montaña, lanzó varios kilómetros cúbicos de materiales a la atmósfera y ocasionó enormes aludes. Los lodos arrasaron con los bosques adyacentes y las cenizas lanzadas llegaron hasta Denver Colorado.

El 28 de marzo de 1982, hizo explosión el volcán Chichón en México; situación, que se cree originó disturbios atmosféricos en 1983, en varias regiones del mundo. Con respecto a este acontecimiento existen algunos comentarios.

Desbois (1984), menciona: "después de la erupción de El Chichón, y durante algunos años, la temperatura media de la Tierra disminuyó de 0.2°C a 0.3°C. Como resultado de este suceso, se observaron condiciones meteorológicas y climáticas poco usuales en distintas partes del globo: sequía en Australia y Sudáfrica, ciclones en Polinesia francesa, invierno muy riguroso en California, inundaciones en Ecuador, etc."

El Chichón, hizo, según este autor, que el fenómeno de El Niño, se extendiera anormalmente en el tiempo. La mayoría de los aerosoles originados por El Chichón se dispersaron por la estratosfera del hemisferio norte, y tales partículas tienen un marcado efecto sobre el balance de radiación de la Tierra.

Aparte del descenso de la temperatura en superficie, la erupción del Chichón podría también tener consecuencias nefastas sobre el ozono estratosférico. David Hoffman y Susan Solomon, del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Estados Unidos, calcularon que los aerosoles y, especialmente, los compuestos clorados y fluorados emitidos por el Chichón, habían ocasionado, durante los meses que siguieron a la erupción, la destrucción del 15% del ozono estratosférico en las regiones polares y en las latitudes medias.

Sin embargo, concluye Desbois, diciendo: "los efectos secundarios y los cálculos térmicos que se realizaron por medio del satélite de teledetección, son todavía inciertos. Así, es aventurado hablar de resultados concluyentes; si bien la relación entre las fluctuaciones climáticas observadas y la erupción parecen obvias, las verdaderas consecuencias están poco definidas".

En abril de 1991, el volcán Pinatubo en la isla de Luzón, Filipinas, también provocó varias explosiones, cuya eyección de cenizas se elevaron hasta unos 20 kilómetros, y los vientos llevaron los aerosoles a unos 30 kilómetros al oeste y suroeste. La cima se destruyó quedando un cráter de 2.5 kilómetros de diámetro.

Lemarchand (1992), al referirse al Pinatubo asevera: "las cenizas y polvos más pesados desaparecen rápidamente de la estratosfera, ya que vuelven a caer sobre la Tierra. Esto ha hecho que se hayan encontrado pavesas del Pinatubo al sur de Vietnam y al norte de Borneo. En cambio el dióxido de azufre puede inyectarse directamente en la estratosfera, donde interacciona con la radiación solar. Se convierte entonces, en trióxido de azufre que se combina con las moléculas de agua para formar minúsculas gotitas de ácido sulfúrico; éstas al absorber la radiación solar y reflejarlas al espacio, provocan una disminución de la temperatura en la superficie de la Tierra. Por consiguiente, es probable que el Pinatubo provoque descensos de temperatura en algunas regiones, de 1990 a 1994".

Desde 1991, el Pinatubo ha estado en erupciones de poca intensidad hasta la actualidad. Las partículas arrojadas desde un principio pueden estar todavía atrapadas en la estratosfera. Si se está en lo cierto, las devastadoras bajas temperaturas que han ocurrido en los días de enero de 1994, en el hemisferio norte, podrían atribuirse a lo que pronosticó Lemarchand. Las heladas y las nevadas acaecidas en Estados Unidos, México y varios países europeos produjeron grandes pérdidas económicas. El hielo cubrió hasta tres metros de altura en algunas áreas de Norteamérica.

Lamb en 1970, realizó un examen de las erupciones volcánicas entre 1500 y 1970, y le dio una escala al impacto de los materiales en la atmósfera, a la que denominó "índice de velo de polvo". Consideró a la erupción del Krakatoa de 1883 con un valor de 1000 unidades. Así, la erupción del Tambora de 1815, que fue tres veces superior a la del Krakatoa, su índice es de 3000 unidades. Las erupciones con un velo de polvo superior a 500 unidades se consideran que son las que tienen mayor repercusión en las fluctuaciones climáticas.

Algunos climatólogos y meteorólogos, como Lamb, sostienen que un conjunto de erupciones volcánicas en diversas regiones del planeta pueden dar comienzo a un descenso de temperatura que posteriormente se puede traducir en glaciación. Al respecto, existen otros puntos de vista.

Brian, Goodman y Reid citados por Lamb (1982), opinan: "durante los períodos históricos en los que la disminución media de la radiación solar ha sido en un 5%; se estima que el descenso de temperatura sólo puede ser de 1°C, por lo que no es

posible desencadenar un período glacial. El enfriamiento no puede ser muy intenso debido a que la disminución de la radiación solar directa queda casi compensada por el aumento de radiación indirecta o difusa, dispersada lateralmente por el polvo".



Figura 3.7. Fumarolas del Popocatepetl. Las cenizas arrojadas a la atmósfera actúan como núcleos de condensación, por lo que pueden concentrar las precipitaciones en las regiones aledañas. Cortesía de Dalila Morales 1998.

Gribbin (1986), dice: "un período glacial por causas de erupciones volcánicas, no tiene suficientes fundamentos, ya que los ritmos astronómicos que Milankovic explica en su teoría, explica mejor las fluctuaciones de una glaciación. Épocas de gran cobertura nivosa, fueron tiempos de actividad volcánica: podría ser que los hielos efectuando presión sobre los continentes causaran el incremento de actividad volcánica, es decir, obligaron al magma a salir de los depósitos volcánicos, como cuando se hace salir la pasta de dientes, oprimiendo el tubo".

Pero Gribbin concluye diciendo que las fluctuaciones climáticas pueden explicarse de forma más adecuada mediante una combinación de la influencia de la actividad solar, sobre todo para explicar variaciones a corto plazo.

Labeyrie (1988), también opina: "algunos climatólogos han ido muy lejos al sugerir que a las erupciones volcánicas sucedieron períodos muy fríos de varios cientos de años.

Y afirma: se ha descubierto hace muy poco tiempo que el período de glaciación de hace 18,000 años fue por el contrario una época de calma excepcional para los volcanes. Es mucho más probable que la causa de esas épocas glaciales sean las variaciones de insolación de origen astronómico, cuyos efectos térmicos son de mucha mayor amplitud y sobre todo de más larga duración que los de las erupciones volcánicas.

No todas las erupciones volcánicas tienen efectos secundarios en el clima, sólo aquellas que pueden lanzar sus materiales hasta la estratosfera, pues ahí no hay lluvias que pudieran transportarlos fácilmente hacia el suelo. En esa capa atmosférica las partículas pueden durar varios años antes de caer por gravedad.

### 3.2.2 Tectónica de placas

La teoría de la Tectónica de Placas expone que la parte más externa de la Tierra, la litosfera, se halla constituida por un número reducido de fragmentos rígidos, denominados placas en movimiento unos con respecto a otros. Las placas descansan sobre los materiales de la astenosfera (más plásticos) que permiten su desplazamiento. Las zonas donde se producen los principales procesos geológicos, como la orogénesis, los terremotos, los fenómenos volcánicos, etc., son los bordes o límites de las placas.

En las dorsales, y más concretamente en sus rift centrales (zona alargada de la corteza terrestre que se ha hundido con respecto a los bloques laterales), se produce un continuo ascenso de materiales fundidos procedentes del manto a partir de los cuales se origina la corteza oceánica. Las dorsales son bordes de placas a partir de las cuales se produce la divergencia de éstas.

Un segundo tipo de borde de placa corresponde a las zonas en donde las placas, debido a los movimientos que las afectan, chocan, hundiéndose una de ellas por debajo de la otra. En dichas superficies se localizan los hipocentros de los sismos más profundos que se conocen.

El tercer tipo de borde de placa corresponde a las fallas de transformación en las cuales las placas ni divergen ni se encuentran, sino que se desliza una a lo largo de la otra. Como ejemplo de este tipo de borde de placa es la falla de San Andrés, en California, a lo largo de la cual se deslizan las placas: Pacífica y Norteamericana.

En la superficie terrestre se distinguen seis grandes placas que son: Pacífica, Norteamericana, Euroasiática, Africana, Suramericana e Indoaustraliana.

La sismicidad de la Tierra se explica actualmente por la interacción entre las placas: la casi totalidad de los sismos que se producen anualmente tienen sus hipocentros en los bordes de dichas placas. La distribución del vulcanismo se explica igualmente por la interacción entre las placas. El denominado "Cinturón del Fuego del Pacífico",

donde se localiza la mayor parte de los volcanes activos, corresponde a las zonas de subducción que bordean a la placa Pacífica.

La disposición actual de las placas y sus movimientos relativos explican también de manera satisfactoria los mecanismos de formación de los principales sistemas montañosos actuales. Así, el sistema de cordilleras peripacíficas, concretamente el de las Montañas Rocosas y los Andes, procede del enfriamiento de la placa Pacífica con la Norteamericana y la Suramericana.

El deslizamiento de las placas tectónicas tendría una participación muy importante en las variaciones climáticas a través de la historia del planeta. Uno de los efectos se desprende del movimiento que puede dar origen a periodos sucesivos de actividad volcánica, lo que conduciría a la propagación de las nubes de polvo, y con ello, un enfriamiento de la superficie terrestre.

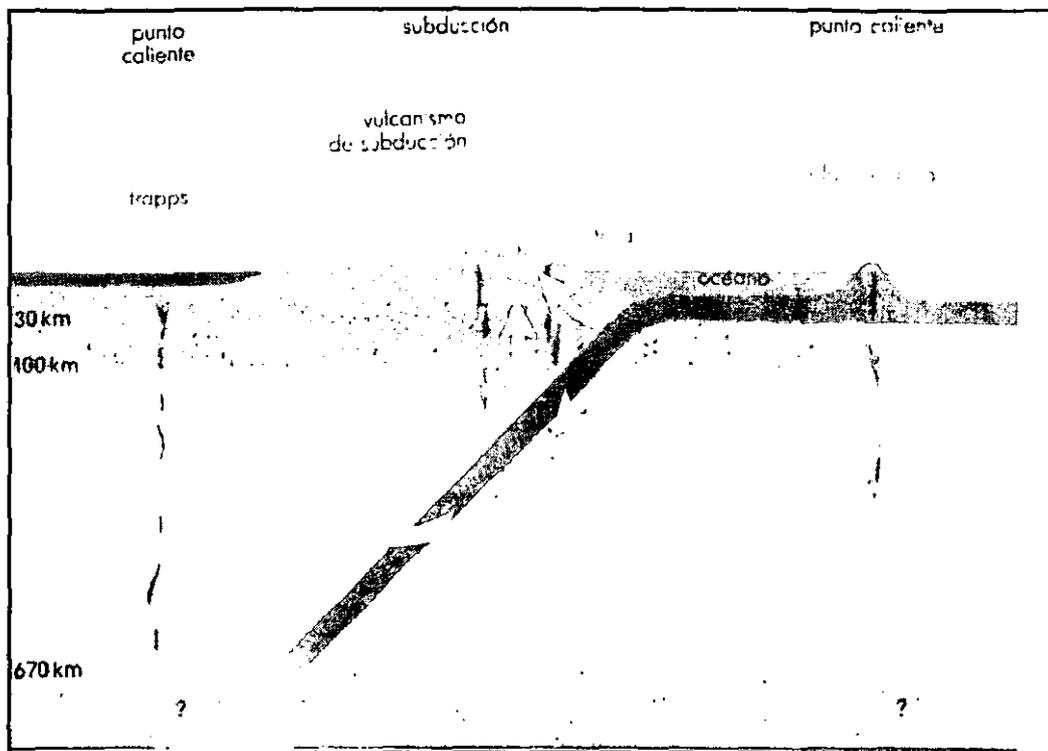


Figura 3.8. Zona de subducción. La subducción conduce a un levantamiento de los bordes de las placas, lo que ha provocado que un lugar que fue marino, ahora, se encuentre a miles de metros con relación al nivel del mar. Por esa razón, se producen variaciones climáticas en algunas regiones. Mundo Científico, 1992.

Bray, citado por Gribbin (1986), presentó en 1974, sus descubrimientos científicos a la comunidad científica, donde expresa que las erupciones volcánicas tienden a ocurrir aproximadamente en el mismo momento en distintas partes del mundo alejadas entre sí. Afirma: en particular muchas erupciones prácticamente sincrónicas se habían producido en Japón, el sur de Suramérica y en Nueva Zelanda, en diversas ocasiones durante los últimos 40,000 años.

Las tres regiones citadas por Bray se encuentran en los límites de la Placa del Pacífico, y da la impresión de que los esfuerzos acumulados en la corteza terrestre han provocado fracturas, vulcanismo y actividad sísmica, de manera simultánea en los distintos bordes de dicha placa.

Gribbin (1986), opina: "que a los resultados que llegó Bray y otros científicos, son demasiado genéricos para aclarar las relaciones específicas entre las erupciones volcánicas y las edades glaciales. Dice: si bien es cierto que la actividad volcánica puede provocar la extensión de los hielos, también en ocasiones los hielos se han propagado en el planeta sin que hayan indicios de procesos volcánicos".

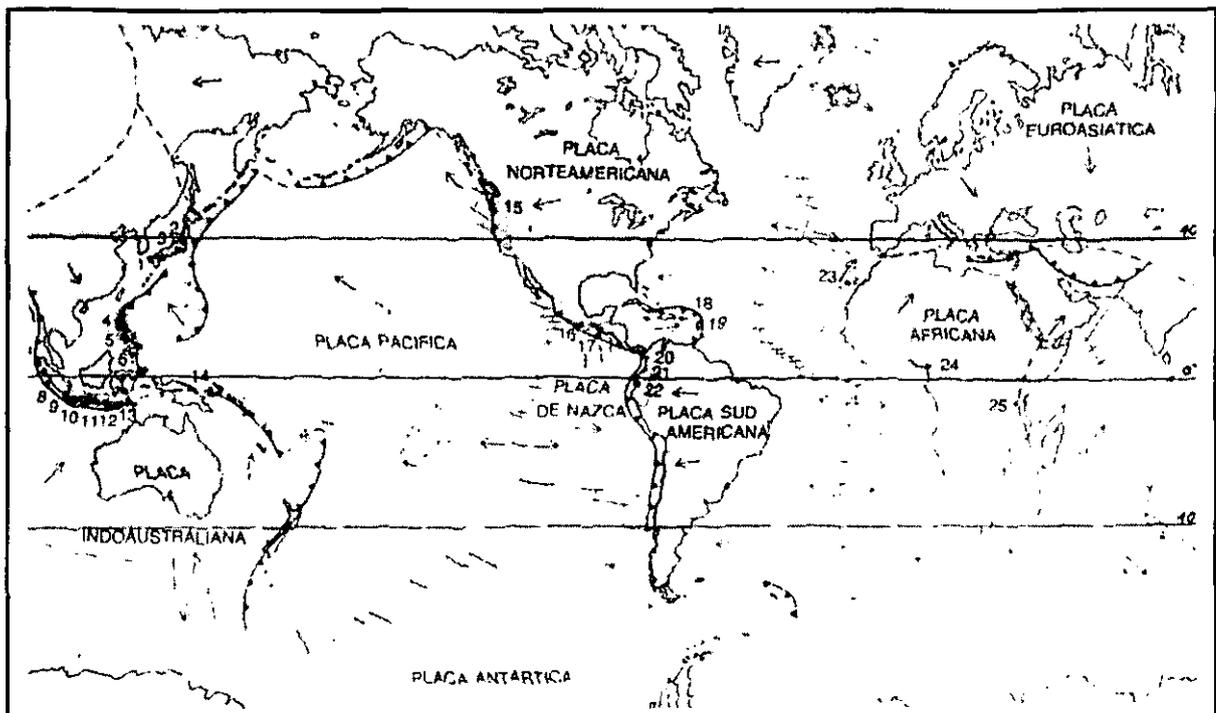


Figura 3.9 Distribución de las placas tectónicas. Los movimientos relativos de los grandes bloques conducen en grandes periodos a ciertas variaciones y cambios atmosféricos. Decker and Decker, 1981.

Otro efecto a muy largo plazo, derivado de la tectónica de placas es el ascenso o sumersión de éstas. Por ejemplo, el lento levantamiento de las montañas en la zona de choque va ocasionando gradualmente, a lo largo de los miles o millones de años, cambios en las condiciones climáticas. De acuerdo a esto, es común observar que lugares que estuvieron dentro o a nivel del mar ahora están a cientos o miles de metros de altitud, y por supuesto, con distinto tipo de clima.

### 3.2.3 Deriva continental

La disposición de los continentes ha variado notablemente a lo largo de la historia geológica de la Tierra. Hoy en día, se acepta que los continentes actuales proceden

de una masa continental única existente en el período Precámbrico a la que se le ha denominado Pangea, cuya fragmentación produjo unidades menores, que sufrieron grandes desplazamientos hasta alcanzar su posición actual. La primer teoría sobre la fragmentación y separación de los continentes que aportó mayores argumentos, fue enunciada por el geofísico alemán Alfred Wegener, en 1912.

Domínguez, (1974), argumenta: "pruebas importantes sobre la disposición de los continentes en el pasado se suministran al estudiar por ejemplo; la fauna y la flora del Carbonífero superior de América del Sur, de África, de la India y de Australia son extraordinariamente semejantes, lo cual indica que en ese período debían existir amplias relaciones geográficas entre dichos continentes. Sin embargo, a partir del Cretácico, sus faunas y floras se diversifican, lo cual indica que se habían separado haciendo posible que experimentaran evoluciones biológicas diferentes".

Igualmente, al estudiar las faunas y floras fósiles del Paleozoico Superior de América del Norte, de Europa y Asia, se comprueba la existencia de profundas semejanzas, explicables si se supone que entre ellos existían amplias relaciones que permitían la intercomunicación de los organismos que los poblaban.

De acuerdo a estudios paleogeográficos recientes, a finales de la era Paleozoica, hace unos 200 millones de años, las masas continentales aparecían ensambladas constituyendo Pangea, rodeada por un gran océano del que la mayor parte del Pacífico es lo que queda en la actualidad. A finales del Triásico, hace unos 180 millones de años, se habían producido ya importantes cambios en la distribución de los continentes. Se distinguían, en dicho período, dos conjuntos continentales: uno, septentrional, Laurasia, que comprendía los actuales América del Norte y Eurasia; y otro, meridional, Gondwana, que incluía los actuales América del Sur, África, Australia, India y Antártica. Entre ambos conjuntos se desarrolló una amplia zona oceánica, llamada Mar de Tethys.

La fragmentación de Gondwana se inició al final del Triásico debido a la formación de un conjunto de riffs en forma de Y, que determinó la separación de la India y Australia-Antártida del conjunto formado por América del Sur y África.

A finales del Jurásico, hace unos 135 millones de años, se inició la formación del Atlántico Sur. Por otra parte, durante este período continuó la separación de América del Norte y Eurasia y, por tanto, la expansión del Atlántico Norte.

Durante el Terciario, se produjeron los últimos acontecimientos que configuraron la actual disposición y distribución de los continentes: se unieron las dos Américas mediante el istmo de Panamá, debido al desplazamiento hacia el norte de América del Sur; la masa continental de la India continuó también su desplazamiento hacia el norte hasta chocar con Asia, a consecuencia de dicha colisión se originó el sistema montañoso más alto de la Tierra, el Himalaya; por último, Australia se separó de la Antártida e inició su desplazamiento hacia el norte hasta alcanzar la posición que ocupa en la actualidad.

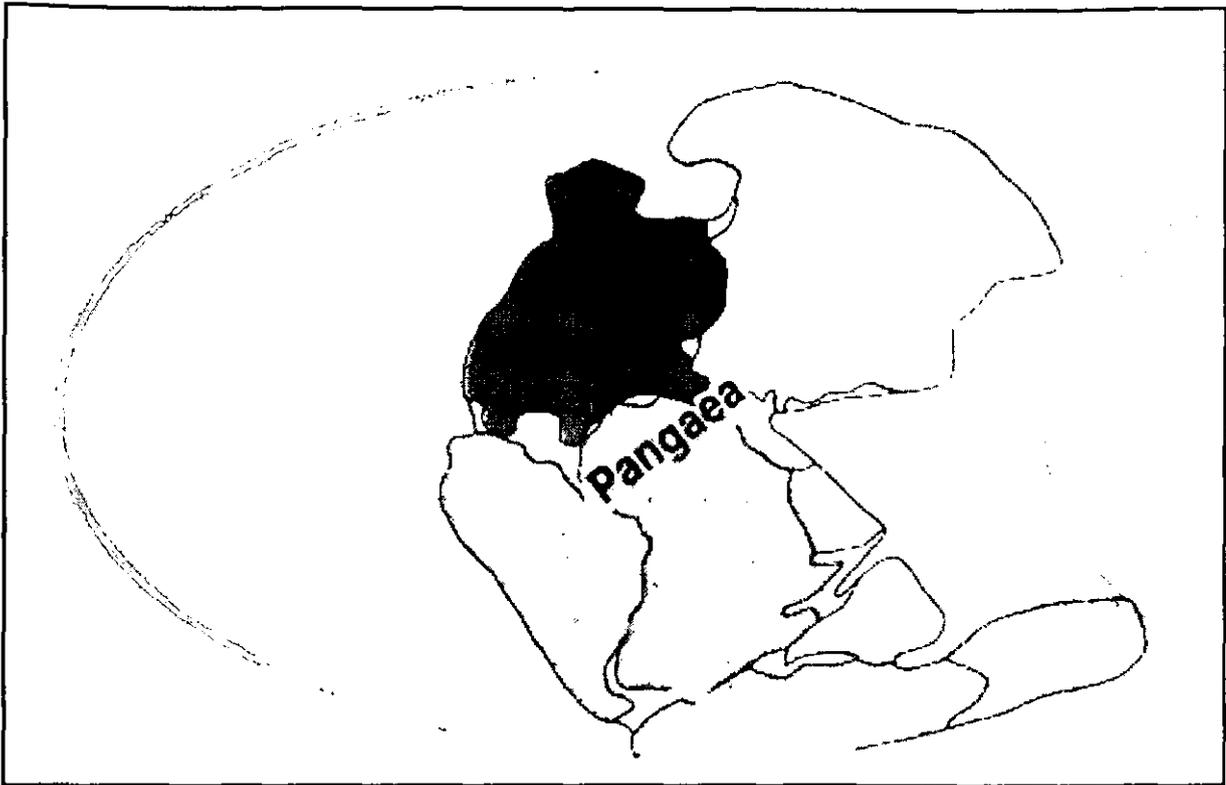


Figura 3.10 Pangea. La disposición de las áreas continentales, así como su ubicación con respecto al ecuador permiten inferir algunos acontecimientos climáticos. Mundo Científico, 1992.

Erickson, (1992), dice: "hace unos 230 millones de años todas las tierras estaban unidas formando un solo continente llamado Pangea, y se encontraba entre las zonas ecuatoriales y tropicales, por lo que se considera que el clima era cálido en las áreas continentales, y así, las corrientes marinas podían desplazarse hasta los polos transportando calor y dando lugar a un clima más fresco que el de la actualidad".

Los climas relativamente más cálidos del Triásico (hace 230 millones de años), en las latitudes altas, también se debió a que las capas de hielo no estaban muy extendidas, por tanto, el albedo era muy reducido. De esta manera, no existía una gran variación climática entre los trópicos y las regiones polares.

La llamada Pangea, se comenzó a fragmentar durante el Jurásico (hace unos 180 millones de años). Al final del Cretácico, los continentes empezaron a desplazarse hacia los polos y se produjo la modificación de las corrientes marinas, junto con el calor oceánico. A medida que los flujos oceánicos reducían su entrada hacia los círculos polares, aumentaban las capas de hielo, facilitando la reflexión solar, lo que condujo a un mayor enfriamiento.

Las tierras emergidas que se encuentran en las proximidades de los polos contribuyen a prolongar los períodos de glaciación, pues son más fáciles de helar que las porciones oceánicas, lo que facilita la acumulación de la nieve y el hielo. Está comprobado que a mayor continentalidad en las latitudes altas en invierno, las

temperaturas disminuyen más rápido. El efecto de enfriamiento se acentúa cuando en áreas continentales existen sistemas montañosos altos.

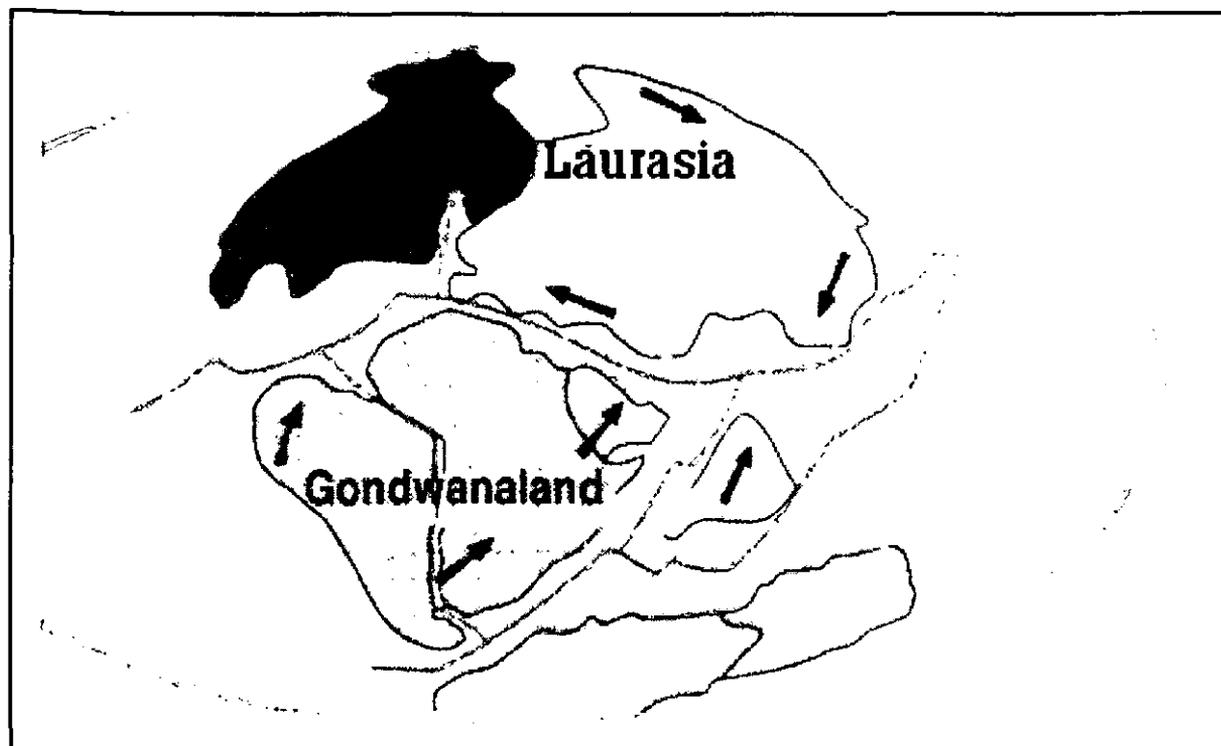


Figura 3.11. Transición de la deriva continental. Durante el Mesozoico los continentes fueron adquiriendo la forma actual. Es obvio, que los desplazamientos han implicado basculaciones en el clima a largo plazo. Mundo Científico 1992.

Longwell y Flint (1979), relacionan de manera plausible, los climas glaciales de los diversos períodos geológicos con la altura de las montañas, y dicen: existe una estrecha relación entre los glaciares y las montañas elevadas y mesetas. Las estructuras de las rocas actuales nos indican que la superficie de la Tierra ha tenido montañas mucho más elevadas, donde se sabe, existieron glaciares. En otras palabras, los tiempos glaciales parecen haber sido generalmente tiempos en los cuales existieron montañas notables. Pero, estos autores concluyen diciendo: "esto parece razonable, pues concuerda con lo que se conoce ahora, pero no pasa de ser una hipótesis".

Se infiere que la posición de los continentes permite determinar las condiciones climáticas. Así, cuando la mayor parte de las tierras emergidas estaban agrupadas en las proximidades de las regiones ecuatoriales, el clima era cálido y húmedo; sin embargo, cuando las tierras emergidas derivaron hacia las regiones polares, el globo quedó cubierto de hielo.

Se ha supuesto también que si todas las tierras se volvieran a encontrar cerca del ecuador geográfico, la temperatura podría ser 12°C más alta de lo que es en la actualidad. Hoy en día la temperatura media del aire en la Tierra, a 1.5 metros sobre el

suelo es de 15°C.

Las teorías de la Tectónica de Placas y Deriva Continental, explican a través de las erupciones volcánicas y la dinámica de las grandes placas algunas fluctuaciones climáticas. Las consecuencias de los volcanes serían principalmente a corto plazo, pero el deslizamiento de las placas a distancias considerables, ocurre a lo largo de varios millones de años. Sin embargo, esta postura podría confirmar de manera elocuente, las condiciones cálidas y húmedas del Carbonífero y del Mesozoico.

En el Mesozoico, Pangea apenas comenzaba a fragmentarse y se considera que muchas zonas continentales estaban muy cerca del ecuador; además las corrientes marinas cálidas podían llegar con facilidad hasta las regiones polares, así, con los hielos fundidos, el albedo era mucho más reducido, por lo que deduce que el clima era benigno para la propagación de las plantas y los animales. Las condiciones ambientales pudieron ser muy favorables para el gran desarrollo de los dinosaurios.

#### 3.2.4 Oscilaciones del campo magnético de la Tierra

La Tierra se comporta como un gran imán (esta idea propuesta por el inglés William Gilbert en 1600), creando a su alrededor un campo magnético, cuyas dimensiones se extienden por el espacio exterior a distancias que oscilan entre 20,000 y 70,000 kilómetros. La intensidad del campo magnético varía a través del tiempo: este comportamiento podría tener relación con la incidencia de algunos fenómenos en la Tierra, entre éstos, los sistemas climáticos.

El eje del imán que crea el campo magnético terrestre se denomina eje geomagnético y los puntos donde sus prolongaciones cortan a la superficie terrestre se denominan polos magnéticos. El eje geomagnético no coincide con el eje geográfico, sino que forma con él cierto ángulo cuyo valor es en la actualidad de 11°, así pues, los polos magnéticos no coinciden con los polos geográficos. Los polos magnéticos tampoco se encuentran diametralmente opuestos. En cada lugar de la superficie terrestre el campo magnético presenta un valor, el cual es máximo hacia los polos magnéticos y decrece hacia el ecuador magnético.

Las medidas de la intensidad y la dirección del campo magnético demuestran que éste está sometido a variaciones que fluctúan entre el segundo y el siglo. Así, existen oscilaciones seculares, estacionales, diurnas y las accidentales.

Se cree que el magnetismo terrestre se debe a que la Tierra se comporta como una gran dinamo en la que la parte más interna (el núcleo), de naturaleza metálica (hierro y níquel), se ha transformado en un imán por inducción de las corrientes eléctricas existentes en las áreas adyacentes de dicho núcleo. Esto se infiere, sabiendo que una barra de hierro rodeada por un alambre se magnetiza por inducción cuando por éste circula una corriente eléctrica.

Pierre (1993), asevera: "en unos pocos miles de años, los polos magnéticos se invierten, de tal modo que una brújula de haber existido en ese entonces habría apuntado hacia el sur. Para conocer el campo magnético de la Tierra miles de años atrás hay que recurrir a medidas indirectas. Determinados minerales contenidos en las rocas tienen la propiedad de adquirir, bajo la acción del campo magnético terrestre una imanación inducida de misma dirección y mismo sentido. Algunos óxidos de hierro y la magnetita tienen la propiedad de retener la imanación".

De acuerdo a estudios realizados, se dice que en la actualidad la escala de polaridad magnética está bien establecida para los últimos 80 millones de años. Las inversiones cambian paulatinamente a lo largo de millones de años, pero son interrumpidos por períodos más cortos.

Orozco (1988), comenta: "hay evidencias geológicas irrefutables que muestran que los polos magnéticos han sufrido inversiones de polaridad; el campo geomagnético se reduce prácticamente a un mínimo. De hecho las mediciones del valor total de la intensidad magnética que se han venido realizando desde 1840, indican que el momento magnético total de la Tierra ha ido disminuyendo regularmente, hasta la actualidad en un 5%. Si esta tendencia se mantuviera, en unos siglos más tarde, la intensidad del campo alcanzaría su mínimo".

La disminución del campo magnético terrestre, es preocupación de muchos científicos, ya que dicho campo, constituye la denominada Magnetosfera, capa que protege a la Tierra contra radiación solar de alta energía.

El Sol emite permanentemente plasma (estado gaseoso de la materia, generalmente a muy altas temperaturas, en que una gran proporción de átomos se desintegran en electrones libres o iones positivos), en forma de polvo solar. El campo magnético está limitado, pues, por la cara iluminada a una distancia aproximada de 20,000 kilómetros. Por el lado no iluminado de la Tierra la Magnetosfera se extiende a distancias superiores a 70,000 kilómetros.

En el interior del campo magnético terrestre (Magnetosfera), a varios miles de kilómetros de la Tierra, existen dos bandas o cinturones de partículas de alta energía que rodean casi totalmente la Tierra, llamadas Van Allen, dejando tan sólo dos aberturas a la altura de los polos magnéticos. Los cinturones de radiación se originan por una acción combinada de las emisiones de plasma solar y por el campo magnético terrestre.

Las partículas del plasma solar, como electrones, protones y neutrones, que no son desviados por la Magnetosfera, alcanzan el campo magnético terrestre y las mantiene a cierta altura de la Tierra. Cuando la concentración de esas partículas alcanza cierto nivel caen sobre la ionosfera cediendo parte de su energía y dando lugar al fenómeno de las auroras polares.

El flujo del viento solar no es uniforme y está plagado de múltiples irregularidades que

al incidir con el campo magnético, genera una serie de fenómenos, como son las tormentas magnéticas. Cuando ocurren éstas, el campo magnético sufre una compresión fuerte y brusca, al recibir el impacto de una nube muy energética del plasma solar.

Se dice que la radiación de plasma solar es tan elevada en la zona de choque con la magnetosfera, que representa un peligro potencial para el ser humano, razón por la cual los vuelos espaciales tripulados se planean para evitar las zonas de radiación más intensa.

Orozco y Godínez (1988), comentan: "existen dos fuentes de energía controladas por el campo magnético terrestre: la transportada por el viento solar y la almacenada en los anillos de Van Allen. Mientras el campo magnético conserve su fortaleza, ninguna de ellas representará un riesgo para la vida en la Tierra".

Pierre (1993), agrega: "todos los estudios muestran que, contrariamente a lo que ocurre en el campo magnético solar que se invierte a grosso modo cada 22 años, el tiempo transcurrido entre dos inversiones del campo magnético terrestre es una magnitud totalmente aleatoria".

Orozco y Godínez (1988), afirman: "al debilitarse el campo magnético de la Tierra llegará el momento en que éste no será capaz de impedir el contacto físico entre el viento solar y las capas de la atmósfera. Esto alteraría el estado dinámico de la atmósfera, generando patrones de circulación anormales, lo que traería fuertes repercusiones en el clima global".

La idea de una relación entre la oscilación del campo magnético de la Tierra y el clima, proviene de las primeras décadas del siglo XX, pero la versión actual comenzó con los científicos Goesta Wollin y David Erickson, en 1970. La clave principal de estos investigadores, radica en que sostienen que cuando el campo magnético terrestre es más débil, la Tierra está más caliente, es decir, las temperaturas ascienden; lo contrario, un campo geomagnético más intenso corresponde a períodos más fríos, dando lugar a una edad glacial.

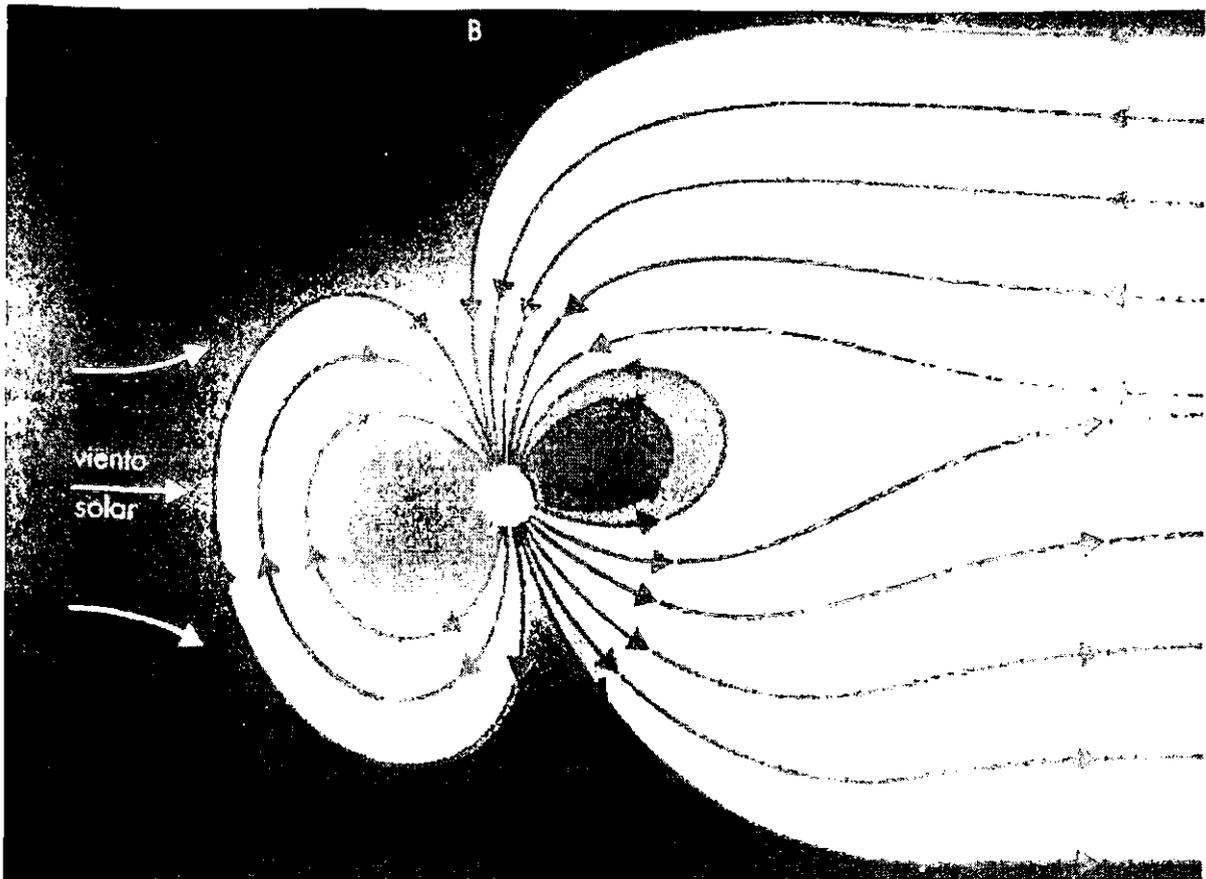


Figura 3.12. Efecto del viento solar. La debilidad del campo magnético terrestre facilita mayor radiación solar hacia la Tierra, y al contrario, cuando está fortalecido, el flujo penetra menos. Ciencia y Tecnología, 1987.

El viento solar al encontrarse el campo magnético de la Tierra no lo puede penetrar, pero lo bordea y es atraído por los polos magnéticos de ésta; cuando está debilitado dicho campo, la incidencia forma vistosas auroras polares, pero cuando es más fuerte este fenómeno es difícil que se produzca.

La posible relación entre el campo magnético terrestre y el clima, lo explica, Jon Erickson, así: cuando el campo geomagnético es más débil, la superficie terrestre se calienta más, porque en ciertas circunstancias los rayos cósmicos pueden penetrar hasta la atmósfera inferior y calentarla. Así pues, la atmósfera queda expuesta al viento solar y a las radiaciones cósmicas de alta intensidad.

Así, si coincide un campo magnético terrestre débil con un período de gran actividad solar, la temperatura puede subir lo suficiente para alterar el clima. Se dice también, que las inversiones magnéticas coinciden con la extinción de las especies animales y vegetales. También podría alterar el material genético, provocando un incremento en la tasa de mutaciones.

Gribbin (1986), opina: "la disminución temporal del magnetismo terrestre podría ir acompañada por cambios en la ionización de la atmósfera superior, los cuales podrían

afectar a la capa de ozono y la circulación atmosférica; todo ello provocaría un brusco cambio climático".

Si Gribbin y los demás científicos tienen razón, la concatenación de los fenómenos antes descritos podrían ser los responsables de los agujeros en la capa de ozono, los cuales se han ensanchado en los últimos años. Como ya se mencionó, la intensidad del campo magnético de la Tierra en la actualidad sigue decreciendo poco a poco, si esta situación continúa, la teoría de Wollin y Erickson, se podrá comprobar en las siguientes décadas o siglos, con condiciones climáticas más cálidas en la Tierra.

### 3.2.5 Ventilias hidrotermales

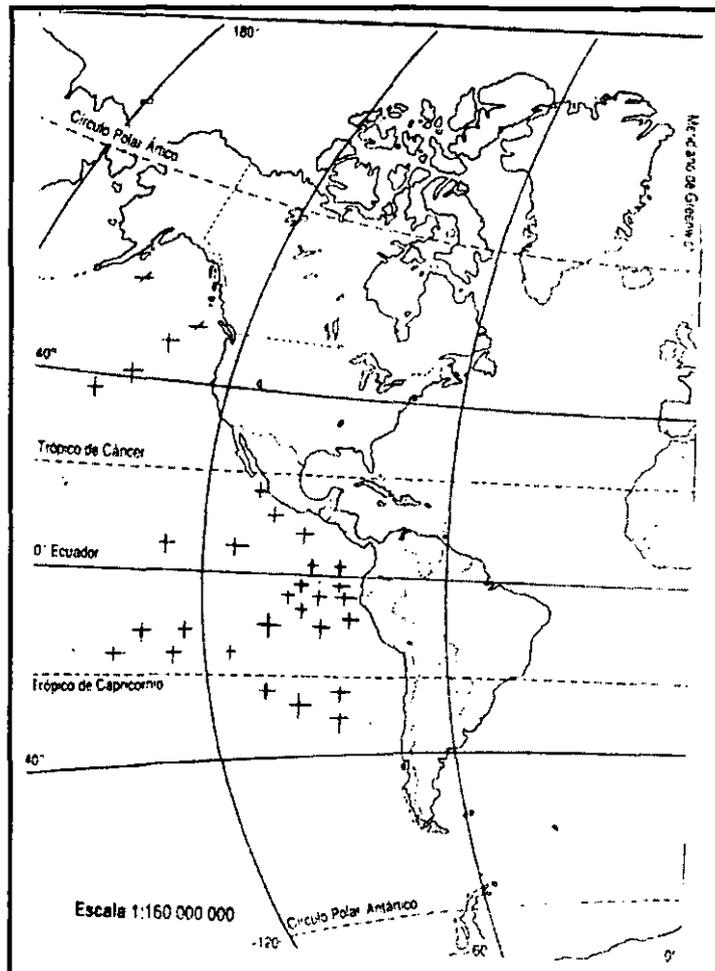
Las ventilas o chimeneas hidrotermales son aquellas fallas o fracturas que se hallan en las cordilleras submarinas, casi en los bordes de las placas tectónicas. Por esas fisuras se están liberando constantemente algunos materiales de origen magmático, vapor de agua y otros gases, con temperaturas muy elevadas que rebasan los 350°C. Las ventilas hidrotermales forman pequeños montículos que miden de 5 a 30 metros de altura y alrededor de ellos se han adaptado ciertas formas de vida en esas zonas abisales.

El descubrimiento de las ventilas hidrotermales tuvo lugar en 1977, cuando un sumergible norteamericano realizaba investigaciones de los procesos tectónicos en la cordillera de los fondos oceánicos en el Pacífico Oriental. Se sabe que estos sitios se caracterizan por su alta actividad volcánica, y por debajo de ellos se encuentran las cámaras magmáticas cuya temperatura puede alcanzar de los 1200° a 1400°C. También se considera que las diferencias térmicas entre los depósitos magmáticos (1400°C) y los fondos marinos (2°C) es la causa de la circulación de los fluidos hacia estos últimos.

Los primeros descubrimientos se llevaron a cabo en la Cordillera Oriental del Pacífico, es decir, en la denominada Cordillera de los Galápagos, cerca de las costas de Ecuador. A partir de 1978 se han detectado ventilas hidrotermales también a lo largo de la Cordillera Meso-Oceánica del Pacífico, que abarca de los 13° a los 25° de latitud norte, así como en la Cuenca de Guaymas en México y la Cordillera de Juan de Fuca, situada frente a la costa del suroeste de Canadá. Se han medido las presiones hidrostáticas en los sitios antes mencionados y éstos rebasan las 250 atmósferas, mientras las temperaturas pueden rebasar los 350°C.

Las dorsales submarinas que se extienden por miles de kilómetros representan un gran número de evidencias de la dinámica del interior de la Tierra, pues se observa que muchos de los volcanes submarinos, en algunas ocasiones, rebasan el nivel del mar y forman verdaderas islas, como es el caso de Islandia y Hawai. También los epicentros de muchos sismos se localizan sobre las cordilleras oceánicas. En las dorsales del Pacífico, es donde se han encontrado mayor cantidad de ventilas hidrotermales. Toda la dinámica anterior indica un desprendimiento constante de

energía calorífica.



(+) Ventilias hidrotermales

Mapa 3.13. Ventilias en la zona de subducción de Suramérica. En esta región marina se ha encontrado posiblemente la mayor cantidad de chimeneas, por donde se desprenden materiales con temperaturas muy elevadas. Las cruces muestran zonas de fracturamientos. Mundo Científico, 1990.

Gillet (1993), menciona: "en el caso de las zonas de subducción jóvenes la temperatura es mucho más elevada, por lo que la placa hundida se funde entre los 100 y 120 kilómetros de profundidad. Los magmas procedentes de la fusión transportan hacia la superficie la mayor parte del agua de la corteza oceánica con temperaturas superiores a 460°C, razón por la que sólo pasa en estado gaseoso.

Se ha calculado que las temperaturas a 30 kilómetros de profundidad es de 600°C, pero a 120 kilómetros (manto superior) asciende a 1300°C. Las zonas de subducción más jóvenes se encuentran más cerca de la materia magmática, por lo que las altas temperaturas se encuentran más próximas al fondo oceánico. Así, por las fisuras submarinas, se ha calculado, que cada año, se depositan alrededor de 20 kilómetros cúbicos de corteza oceánica, lo que significa que la energía calorífica está fluyendo

continuamente.

Los científicos han descubierto que en la zona de fracturas que se encuentra en el Pacífico Oriental (alrededor de los 21° de latitud norte), la existencia de una cámara magmática a muy poca profundidad, por lo que las soluciones que ascienden por las fallas superan los 400°C. Los sulfuros, el sílice, el manganeso, el hierro, y otros elementos, son expulsados en ocasiones con violencia, a varios cientos de metros, y después mediante un fenómeno conectivo, el calor y ciertos gases pueden llegar hasta la superficie del mar.

Weiss (1977), citado por Gillet (1993), estima: "los flujos hidrotermales no sólo viajan verticalmente, sino también en sentido horizontal, de esta manera, las sustancias que se arrojan pueden ser desplazadas a grandes distancias, es decir, como un proyectil; viajan en forma de parábola, con lo que pueden alcanzar más de 1000 kilómetros de radio".

Gillet (1993), también dice: "los volcanes de las zonas de subducción y los puntos calientes (como las ventilas hidrotermales) pueden dar lugar a erupciones masivas durante períodos alternados que pueden durar cientos o miles de años. El vulcanismo más activo del planeta se encuentra en las grandes fosas oceánicas, como son los sistemas: andinos, indonesios, japoneses y todas las zonas submarinas del Océano Pacífico. Casi todas estas zonas térmicas se ubican dentro del gran océano, pues, es ahí donde convergen las grandes placas tectónicas.

Como es sabido la parte más externa de la Tierra, la litosfera, está constituida por un número de fragmentos rígidos, denominados placas, en movimiento unos respecto a otros. Las zonas donde se producen los principales procesos geológicos, como la orogénesis, los terremotos, el vulcanismo, las ventilas hidrotermales, etc., son los límites de las placas.

Para el presente estudio, interesa destacar las zonas donde dos placas chocan, hundiéndose una de ellas por debajo de la otra. Una de ellas se introduce en zonas profundas y sus materiales son reabsorbidos por el manto. Un ejemplo de este tipo de límite es la placa pacífica, cuyos materiales son consumidos por la suramericana. Los límites entre ambas se encuentran frente a las costas de Ecuador, Perú y Chile; zona en la que se encuentran el mayor número de ventilas hidrotermales en la Tierra.

Las islas de Hawai son producto de la actividad volcánica submarina. Se dice que el 90% de las erupciones volcánicas ocurren bajo el mar, liberando materiales y calor. La energía calorífica almacenada en el océano puede afectar al clima de la Tierra, no solamente por el calor sino también por la cantidad de gases de invernadero que desprende este fenómeno.

Con los argumentos expuestos sobre las ventilas hidrotermales se pretende evidenciar los flujos de energía calorífica que se manifiestan dentro y fuera de la zona de subducción de las dos placas; el calor que se escapa a través de las fisuras puede

llegar a formar una gran cantidad de energía potencial que represente un calentamiento parcial del océano, cuyos efectos más inmediatos podrían ser el ascenso de las temperaturas en las partes superficiales acuosas. En este caso, frente a las costas de Ecuador y de Perú se dispone la corriente marina cálida "El Niño", la que puede estar en determinados períodos, influenciada por el calor que emana del fondo oceánico.

Esta es una hipótesis atrevida puesto que hasta ahora no se ha sabido a través de ningún medio de información, la relación que pudiera existir entre el calor de las ventilas hidrotermales y el ascenso térmico en la corriente marina "El Niño". Con el tiempo, los científicos podrán sacar a la luz la conexión de lo que se menciona en este texto, lo que puede refutar estas ideas; pero también es claro que toda la energía que se introduce en un sistema después de un tiempo es liberada.

En la actualidad se ha estado estudiando exhaustivamente la corriente "El Niño", ya que cuando presenta un caldeoamiento más allá de lo normal acontecen situaciones muy diversas en el medio ambiente circundante en esas regiones. Una de las consecuencias de la mayor intensidad de esa corriente es el comportamiento climático anómalo en algunas regiones del mundo, por ejemplo las lluvias torrenciales y las inundaciones en las costas semiáridas de Perú y Ecuador en ciertos años. Como ya se dijo, "El Niño" puede afectar en gran escala los sistemas climáticos, los cuales pudieran tener su antecedente en las ventilas hidrotermales de las zonas abisales del océano.

En los tópicos anteriores se han abordado las principales teorías y factores que han provocado las fluctuaciones climáticas a través del tiempo en la Tierra ; como puede observarse destacan los fenómenos terrestres y cósmicos, los que parece presentan bases más evidentes en dichos acontecimientos. En el capítulo IV se relacionan los períodos atmosféricos más relevantes en la historia geológica de nuestro planeta con los fenómenos que pudieron motivarlos.

## CAPÍTULO IV

### VARIACIONES CLIMÁTICAS Y SUS CAUSAS EN LAS ERAS GEOLÓGICAS

En el capítulo anterior solamente se identificaron y se ordenaron los factores o fenómenos que pueden provocar las variaciones y cambios climáticos en la Tierra, mientras en este capítulo se trata de explicar los factores que pudieron haber participado en cada período o era para caracterizar sus condiciones climáticas generales.

Los climas desde el Prepaleozoico al Cenozoico fueron muy diferentes: cálidos, fríos, secos, lluviosos, ventosos, etc. Se conocen estas oscilaciones básicamente por medio del análisis de las rocas y de los organismos fósiles que existieron en esos tiempos. Sin embargo, no en todos los períodos se encuentran evidencias bien definidas que testifiquen la presencia de las condiciones atmosféricas; de esta manera, en muchos casos, sólo se llega a la aproximación de la ocurrencia de los fenómenos que pudieron conformar los sistemas climáticos.

Los fenómenos que se han presentado en cada una de las eras y períodos geológicos tuvieron que ser muy diversos: algunas veces pudo haber sido uno el que predominaba, tal vez, por su mayor magnitud e intensidad, pero en otro tiempo pudieron converger toda una gama de eventos, por lo que es difícil discernir con precisión cuál o cuáles fueron los responsables de las variaciones y cambios climáticos en la Tierra. Al respecto, algunos investigadores, han puesto en evidencia, sobre todo en las últimas décadas, un elevado número de teorías que explican las variaciones atmosféricas en nuestro planeta.

En la actualidad se sabe que las variaciones atmosféricas obedecen a la interacción de fenómenos terrestres y cósmicos, y además se hace énfasis en la intervención de las actividades humanas en esas vicisitudes; es por esta razón, que cuando algún evento meteorológico o climático se manifiesta de manera extraordinaria no se sabe con exactitud cuáles son los responsables, pues sus efectos pueden permanecer encubiertos. Hay que advertir que probablemente ninguna teoría explica todo un evento climático, pero sí muchas de ellas presentan mayor número de argumentos en sus exposiciones.

Al tratar de identificar los fenómenos que han provocado las variaciones atmosféricas en la Tierra, se abordan distintas teorías y puntos de vista de varios investigadores de prestigio en las disciplinas correspondientes. Los argumentos vertidos pueden apegarse mucho a la verdad, pero de ninguna manera se trata de una verdad absoluta, ya que el conocimiento de algo puede cambiar a medida que surgen nuevas posturas teóricas; en muchas ocasiones lo que se tenía como cierto, en otro tiempo puede resultar falso. Tomando en cuenta los argumentos anteriores, la presente investigación trata de apegarse a los postulados que se consideran en la actualidad

más cercanos a la verdad.

Así, en este capítulo se consideran de manera enfática los argumentos que se pregonan en la actualidad sobre todos aquellos fenómenos o factores que han participado en las basculaciones climáticas, comenzando con los periodos más antiguos de la historia geológica de la Tierra hasta terminar en los tiempos recientes. Lo que puede distinguir a este capítulo son los aportes personales que se realizan en cuanto a tratar de reconocer y ordenar los fenómenos en cada periodo con características climáticas propias.

#### 4.1 Prepaleozoica

La era Prepaleozoica ( tiempo que significa antes de la vida antigua) como su nombre lo indica fue aquel periodo anterior al Paleozoico, y se considera que abarcó de hace 3,500 a 600 millones de años. Con el estudio de las rocas de esos tiempos (estado muy alterado) se infiere que en un principio no hubo ninguna forma de vida, ni en los océanos ni en los continentes, pues los componentes de la Tierra (en un principio incandescente) comenzaban a evolucionar de manera relativamente lenta.

El hallazgo de conglomerados glaciares en ciertas latitudes y altitudes en la Tierra indican la presencia de las glaciaciones en esas zonas; fenómeno que tuvo que alternar con tiempos menos fríos. Al final de esta era ya se encuentran algunos fósiles (en situación muy confusa) de configuración muy simple; como, gusanos, esponjas y radiolarios; pero aparentemente la vida se desarrollaba exclusivamente en los mantos acuíferos.

Zajarova (1980), menciona: "en el comienzo de la era Prepaleozoica (más de 3 500 millones de años), existían ya los continentes y los océanos, aunque su configuración difería mucho de la presente. La Tierra ofrecía un panorama desolado; peñas oscuras alternaban con espacios de la lava enfriada. Por doquier humeaban los volcanes, formando densas nubes de vapor de agua, gas carbónico y cenizas".

En ese tiempo, la atmósfera era pobre en oxígeno (no existía vegetación suficiente para elevar la cantidad de este gas) y copiosa en dióxido de carbono. Este último gas tiene la propiedad de retener con eficiencia el calor, con lo que desarrolló el efecto invernadero, tanto con la energía solar como con la que emanaba de la actividad volcánica. Estos dos factores debieron dar origen a un clima cálido que se prolongó probablemente hasta el comienzo de una glaciación que afectó a gran parte de la superficie terrestre.

Erickson (1991), comenta: "la mayor glaciación jamás sufrida por la Tierra tuvo lugar hace 700 millones de años, cuando casi la mitad del planeta quedó convertido en hielo y el permafrost (suelo permanentemente helado) quedó cerca de las latitudes ecuatoriales".

Una de las herramientas indicadoras del clima en el pasado son los fósiles en las rocas. Pero las formaciones rocosas muy antiguas están desprovistas de organismos que pudieran señalar las situaciones atmosféricas en el Prepaleozoico. No obstante, ciertos tipos de rocas revelan los períodos de clima cálido, frío, seco o lluvioso.

Butzer (1980) citado por López (1983), argumenta: "la prueba más notable y directa del clima del Prepaleozoico son los depósitos glaciáricos que se encuentran en varias partes del mundo y que indican una época de extensa glaciación al final de esta era. La distribución de las tilitas en la región meridional del escudo canadiense, sugiere que esta parte de Canadá estaba cubierta por un manto de hielo de 1 600 Km de diámetro en esos períodos antiguos".

Las tilitas son conglomerados glaciares, formados por acumulación de morrenas correspondientes a las glaciaciones. Butzer menciona que quizá en Australia se registró la más extensa glaciación; en la Sierra Flinders, situada en la parte central meridional de ese país, es donde se encuentran las mejores exposiciones de depósitos glaciáricos. La tilita Sturtian alcanza un espesor de 4 875 metros y abarca una distancia de 480 kilómetros. La presencia de tilitas en varias regiones de latitudes entre los 50° y 70° de Australia, Norteamérica y Eurasia, conllevan a pensar que las banquisas cubrieron en el pasado zonas, que ahora están desprovistas de hielo.

Del Prepaleozoico se han encontrado algunas formaciones de rocas calizas y salinas en las Montañas Rocallosas. Ese tipo de rocas reflejan, según los geólogos, que antes de la gran glaciación hubo climas cálidos y secos.

En el Prepaleozoico, apenas comenzaron a surgir algunas formas de vida en los océanos; se trataba de algas azules-verdosas, y también algunos representantes de animales invertebrados, como, radiolarios unicelulares microscópicos.

Los organismos de la era Prepaleozoica fueron muy escasos y de reducida diversidad; de esta manera, los climas de la mayor parte del tiempo son bastante difíciles de definir, ya que los restos orgánicos y las rocas sufrieron las mayores mutaciones, por lo que existe muy poca información para su estudio.

En los comienzos de la evolución de la Tierra existía gran cantidad de dióxido de carbono que mantenía la temperatura superficial muy elevada. Bryson y Murray (1985), dicen que en ese tiempo la atmósfera tenía aproximadamente un 25% de dióxido de carbono, mientras que en la actualidad es sólo de 0.03%. También el vapor de agua existía por entonces, pero casi no se llevaba a cabo la condensación y la sublimación, ya que el exceso de calor lo impedía parcialmente.

Cuando la superficie terrestre y la atmósfera comenzaron a enfriarse, entonces se dio el proceso de condensación y se originaron las primeras lluvias que coadyuvaban a enfriar más el ambiente. Pese a que el ciclo hidrológico ya se manifestaba, la atmósfera seguía siendo más cálida en relación con la actualidad, pues se ha estimado que aún el dióxido de carbono era elevado.

Gribbin (1986), dice: "el dióxido de carbono se mantuvo en la atmósfera primitiva por millones de años, ya que todavía no existían depósitos naturales que pudieran absorberlo, como son los océanos y la vegetación. Los océanos captaron suficiente dióxido de carbono, y así colaboraron en el enfriamiento ambiental".

Después de que comenzaron a presentarse las primeras lluvias, se formaron los océanos que empezaron a almacenar el agua que llegaba por las precipitaciones y los ríos. Al mismo tiempo, el dióxido de carbono se mezclaba con los océanos primitivos; una vez que este gas se depositó en el mar, fue aprovechado para la creación de la vida: origen de las algas, el fitoplancton y el zooplancton.

Lovelock (1992), menciona: "desde hace unos 1000 millones de años, cada vez mayores cantidades de oxígeno en la atmósfera participaban en las reacciones en las que intervenía la luz solar (reacciones fotoquímicas), las cuales crearon la capa de ozono de la estratosfera. La capa de ozono impidió después el paso de la energía ultravioleta, y sólo a partir de ese momento hubo la posibilidad de que la vida saliera de los mares a tierra firme. Sin los fotosintetizadores no existiría la capa de ozono ni habría oxígeno para respirar".

Con la presencia de las plantas marinas y después terrestres disminuyó considerablemente el dióxido de carbono y este acontecimiento condujo a reducir los niveles de calor que habían existido por millones de años.

A mediados y a finales de la era Prepaleozoica, el clima general de la Tierra, no sólo era más fresco, sino que se produjo una gran glaciación que duró varios miles de años. La distribución de los conglomerados glaciares (tilitas), en regiones de Norteamérica, Laurasia y Australia confirman los ambientes gélidos. Para varios investigadores como Lamb (1960), Gribbin (1986), Bryson (1986) y Erickson (1992), la pérdida del dióxido de carbono motivado por la presencia de las algas, fitoplancton y plantas terrestres, causó el enfriamiento sustancial del clima, y el descenso paulatino de las temperaturas trajo consigo la gran glaciación hace unos 700 millones de años.

Otra de las teorías que explican las glaciaciones y los períodos más cálidos es la inclinación del eje de rotación terrestre. La inclinación del eje respecto a la eclíptica en la actualidad es de 23.45°, pero a lo largo del tiempo fluctúa de 21.8° a 24.6°, en un período de 41,000 años. Cuando comienza a disminuir la inclinación del eje terrestre, la inclinación de los rayos solares es más elevada en las altas latitudes, lo que conduce a un descenso de las temperaturas. Sin embargo, cuando ocurren las grandes glaciaciones pueden incidir varios procesos que en conjunto pueden producir las condiciones, que en este caso, sería un descenso muy fuerte de las temperaturas.

Otros eventos que pudieron contribuir al descenso de las temperaturas al final de la era Prepaleozoica, son las erupciones volcánicas de gran magnitud. Las erupciones volcánicas arrojan con frecuencia muchísimo polvo que se dispersa en la atmósfera, pero cuando alcanza la estratosfera, puede permanecer allí por varios años, con lo

que se impide parcialmente la entrada de los rayos solares, esto pudo provocar en esa era los descensos de temperatura a escala mundial.

El impacto de meteoritos en la superficie terrestre en los primeros 2,500 años fue muy frecuente, ya que se trataba de material cósmico que seguía siendo atraído por la Tierra. Numerosos cráteres se encuentran en Norteamérica, Eurasia y Australia, cuyos diámetros son de algunos kilómetros. Se cree que las huellas de los grandes meteoritos que han caído en las zonas tropicales han sido prácticamente borradas por procesos erosivos de vientos y lluvias, mientras que en las zonas polares se han conservado más al permanecer algunos de ellos cubiertos por agua y hielo.

Los meteoritos al chocar con la superficie de la Tierra, provocan fricción con ésta y con el mismo aire, con lo que en esos momentos ocurren incendios con los que más tarde las nubes de humo pueden oscurecer la atmósfera. El impacto de los asteroides provoca la volatilización de los mismos, y del material terrestre que se levanta se forman nubes de partículas y polvos que se dispersan hacia la atmósfera que posteriormente enturbian y enfrían las capas inferiores de ésta. Según Erickson (1992), la primera gran glaciación importante ocurrió hace unos 2,000 millones de años, y se debió principalmente al choque continuo de material cósmico (residuos de planetoides) en la superficie terrestre.

También se dice que hace unos 3,500 millones de años el Sol era más pequeño que en el presente, su radiación hacia el espacio era en un 4% menor, con lo que se infiere que ese efecto contribuyó a algunos episodios glaciales. Tal vez, lo que impidió su mayor influencia en el clima de la Tierra fue la introducción masiva de los gases a la atmósfera, con lo que en algunas etapas tuvieron rasgos de nieblas con un Sol muy débil.

Otaola (1993), comenta: "hace 4,500 millones de años el Sol era un 30% menor que en la actualidad, ese menor tamaño representó menor cantidad de energía electromagnética hacia la Tierra y a sus climas".

El menor tamaño del Sol y su consecuente débil radiación hacia el espacio interplanetario, proponía situaciones de enfriamiento en la Tierra, pero ese efecto como se vio fue sustituido con el calor liberado constantemente por la actividad volcánica con material incandescente y por los gases que aumentaban en su atmósfera para mantener el efecto invernadero.

Los fenómenos anteriores son los que con mayor probabilidad dieron lugar a los eventos glaciales al final de la era Prepaleozoica, y que a su vez indicaron la finalización de la misma.

A continuación se expone un cuadro donde se muestran los principales acontecimientos ambientales relacionados con las bajas temperaturas.

## CRONOLOGÍA DE LAS EDADES DE HIELO MÁS IMPORTANTES

TIEMPO EN AÑOS	ACONTECIMIENTO
10 mil	Interglacial actual
12 mil	Fusión de los casquetes de hielo
20 mil	Glaciación del Pleistoceno
100 mil	Episodio glacial importante
1 millón	Interglacial importante
2 millones	Primer episodio glacial en el polo norte
4 millones	El hielo cubre el polo norte
15 millones	Segundo episodio glacial en Antártida
30 millones	Primer episodio glacial en Antártida
230-65 millones	Intervalo del clima cálido
230 millones	La gran edad del hielo del Pérmico
700 millones	La gran edad de hielo del Prepaleozoico
2000 millones	Primera edad de hielo importante

Cuadro: 4.1

Fuente: Erickson 1991.

En el cuadro anterior se muestran los grandes eventos climáticos que han ocurrido en la Tierra en los últimos 2000 millones de años, se destacan los episodios glaciales ya que su ocurrencia provocaron grandes bloques de hielo que se extendieron hacia las menores latitudes (entre los 50 y 40 grados) y también las cumbres elevadas de las montañas se cubrieron con esos ambientes gélidos.

### 4.2 Paleozoica

La palabra Paleozoica significa vida antigua y transcurre de hace 600 a 225 millones de años. El tiempo paleozoico señala la ocurrencia de los primeros registros precisos de la historia ambiental de la Tierra. A través de todo ese tiempo, surgieron formas de vida más complejas que sugieren fluctuaciones atmosféricas muy diversas con lo que evolucionó enormemente todo el planeta.

La era Paleozoica para su estudio se ha dividido en seis períodos de duración desigual, los que se distinguieron por su diferente magnitud e intensidad en la manifestación de los fenómenos naturales, y por tanto, también en los sistemas climáticos. Los períodos son: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico.

#### 4.2.1 Cámbrico

Después de la gran glaciación que dio fin a la era Prepaleozoica, inicia un período con temperaturas menos frías, y se da inicio a climas más cálidos. Al primer período de

esta era se le denomina Cámbrico y tuvo lugar, hace unos 580 a 500 millones de años. En él ya existen pruebas evidentes de abundante vida orgánica (básicamente invertebrados). En cierta manera la presencia de más vida, sugiere climas más benignos.

Lotze (1970), expone: "al principio del Cámbrico predominó un clima frío y húmedo, ocurriendo en este tiempo, una transición de la época glacial anterior a climas más benignos. Del Cámbrico medio al superior, el clima se vuelve cálido y seco. La formación de esas regiones áridas alcanza una extensión considerable, como los yacimientos salinos en Siberia, Irán, Norteamérica y regiones de Europa".

Los extensos arrecifes calcáreos de la Archacocyathina en el Cámbrico Inferior, implican cambios moderados, puesto que las condiciones fisicoquímicas favorecen gradualmente la precipitación de la cal en las aguas tropicales. Los grandes depósitos de calizas y dolomías de fines del Cámbrico, llegaron al norte, hasta Quebec, Terranova y norte de Groenlandia, igualmente prueban que predominaron climas moderados en estas latitudes. A todo ese tiempo se le considera interglacial, es decir, relativamente cálido.



Figura 4.1 El Cámbrico. Reconstrucción de los continentes, donde se muestra que el hemisferio Norte estaba más fragmentado que el Sur. También el Norte de Europa y la Antártida estaban cerca del ecuador. Moody Richard, Prehistoric World, 1985.

Con el mejoramiento del clima, en las zonas fóticas de los mares comienzan a proliferar animales invertebrados, y muchos de ellos fabrican su propio esqueleto utilizando materiales carbónicos que se encuentran disueltos en el mar. Esos organismos encuentran refugio en las variadas y abundantes algas marinas.

A partir del Cámbrico el efecto de invernadero mundial había disminuido notablemente, lo que condujo a climas más benignos para el desarrollo de los seres vivos. Moody (1985), asevera que durante el Cámbrico las zonas continentales estaban alejadas de los polos (principalmente del polo norte) y alrededor de las bajas latitudes, con porciones fragmentarias que permitían la entrada del agua de los mares a menores latitudes.

La posición de las zonas continentales cerca de las fajas subtropicales y tropicales durante el Cámbrico permitió estar cerca de los equinoccios y de los solsticios, y por tanto, tener insolación y temperaturas más elevadas. Es probable que los efectos monzónicos fueran muy acentuados: el calentamiento continental creaba un campo de baja presión que atraía a los vientos de los mares periféricos, motivando fuertes lluvias que impulsaron el desarrollo de las plantas y los animales.

Moody (1985), menciona que existían entradas del mar a los continentes formando penínsulas con direcciones diversas. La entrada de agua a través de los golfos condujo a transportar más humedad y calor hacia el interior continental. La penetración del agua garantizó climas moderados.

Hay que recordar que los climas tropicales se distribuyen naturalmente de los 10° a los 23°27' de latitud norte y sur, pero pueden prolongarse a latitudes mayores si otros factores climáticos lo permiten. Cumplen esa función las corrientes marinas cálidas, los costados de barlovento y el relieve de moderada altitud.

#### 4.2.2 Ordovícico

Posteriormente, sigue el período Ordovícico, de hace 500 hasta 440 millones de años; se dice que también fue cálido en la mayor parte del mismo. Las condiciones climáticas favorecieron el desarrollo de gran cantidad de corales. Muestras de arrecifes se han encontrado en las calizas Chazy, en las orillas del lago Champlain: es un coral apanalado primitivo llamado *Lamottia*. Se dice que este período fue de gran inundación marina, pues alrededor del 70% de América del Norte se cubrió de someros mares cálidos. Al final de este período hubo un levantamiento en el este de Estados Unidos y Canadá que se extendió hasta Nueva Jersey y Terranova.

Al final del Ordovícico sobreviene un descenso de temperatura que paulatinamente se convierte en una glaciación. Los tiempos glaciales se prolongan hasta el comienzo del Silúrico.



Figura 4.2 El Ordovícico. La reconstrucción indica el surgimiento de América del Norte. También es notable que la mayor parte de las zonas continentales estaban en el sur del ecuador. Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Algunos autores, como Longwell y Flint (1979), argumentan que la elevada altitud de las montañas contribuye enormemente a la propagación de los glaciares, por lo que algunas tilitas no se deben precisamente a una expansión del hielo de manera latitudinal, sino a un factor de relieve elevado.

En el Ordovícico, parte de África y norte de Suramérica seguían estando cerca del polo sur, pero el desplazamiento de las zonas continentales comenzaba a vislumbrarse hacia el norte. Grandes porciones de Norteamérica, Europa y Antártida se encontraban entre los 40° de latitud sur y el ecuador, pero su tendencia de desplazamiento era hacia el hemisferio norte.

América del Sur, África, Antártida, Australia, Norteamérica, India, Europa y Asia, se aprecian como grandes islas, separadas unas de otras por enormes canales, por donde con seguridad pasaban algunas corrientes marinas que transportaban energía calorífica de las regiones tropicales hacia mayores latitudes.

Durante este período la mayor parte de las áreas continentales estaban en el hemisferio sur, mientras el sureste de Asia se encontraba entre los 30° y los 60° de

latitud norte. Así, en gran parte del hemisferio norte predominaban las zonas oceánicas.

Los climas del Ordovícico eran diferentes según la latitud, pero de manera general era un clima relativamente cálido, ya que los continentes estaban más o menos espaciados permitiendo la distribución del calor por las corrientes marinas, las masas de aire cálido y los vientos.

Las rocas lateríticas y los arrecifes de coral encontrados en Norteamérica durante el Ordovícico indican climas cálidos y húmedos, en tanto, las rocas evaporitas halladas en el centro de Australia son indicio de un clima seco desértico continental. En este tiempo Australia se ubicaba entre el ecuador y los 30° de latitud norte.

Seyfert (1979), dice: "el clima en la mayor parte del Ordovícico estuvo con temperatura y humedad elevadas. Sin embargo, existieron tiempos fríos y secos. Se han encontrado evidencias de movimientos de glaciares del polo sur hasta los 50° de latitud en regiones que ahora son África y Suramérica".

Existen señales de la variedad de climas que existieron en este período que respondían a la ubicación geográfica de cada región de la Tierra. La presencia de depósitos de glaciares a los 50° de latitud implica la ocurrencia de glaciaciones que debieron llevarse a cabo como consecuencia de las diferentes posiciones de la Tierra con relación al Sol.

#### 4.2.3 Silúrico

El tercer período de la era Paleozoica data entre 440 y 400 millones de años. Los arrecifes de coral ampliamente distribuidos en las calizas del Silúrico Medio, son prueba suficiente para suponer que las temperaturas relativamente cálidas se extendieron hasta las regiones árticas; posiblemente las corrientes marinas cálidas llegaban hasta esos lugares. La enorme distribución de las calizas y dolomías confirman más la prueba de los corales. Otros grupos de invertebrados principalmente cefalópodos habitan en latitudes muy amplias.

Las rocas silúricas están ampliamente distribuidas en el Este de Estados Unidos, y la famosa roca dolomita "Lockport" que viene del Silúrico Medio, forma la roca superficial de las cataratas del Niágara.

Hentschel (1986), expresa: "el clima fue cálido y homogéneo durante del Ordovícico y el Silúrico Superior, con sus extensas formaciones cálcicas y sus depósitos salinos, lo que hace suponer condiciones áridas en el norte de América y en las regiones bálticas".

En Australia, Estados Unidos, Canadá y Asia, se han encontrado evaporitas, las cuales señalan climas áridos y semiáridos. Estas rocas se hallaban en el interior de las

áreas continentales. La aridez se explica por la lejanía de esos espacios con relación a los mares, pero sobre todo, porque se ubicaban cerca de los 30° de latitud norte y sur, es decir, en franjas de subsidencias atmosféricas.

En la actualidad la existencia de los grandes desiertos como el de Sahara, Arabia, suroeste de Estados Unidos, Atacama, Kalahari, Gobi, Victoria, etc., se debe básicamente a la circulación general de la atmósfera; las subsidencias de los 30° de latitud norte y sur, crean masas de aire que descienden de la alta troposfera y se van calentando por compresión y si se agrega su poca capacidad para absorber humedad, se explica la presencia de desiertos en esas regiones. Esta concordancia se encuentra al observar la distribución de los continentes en el Silúrico.

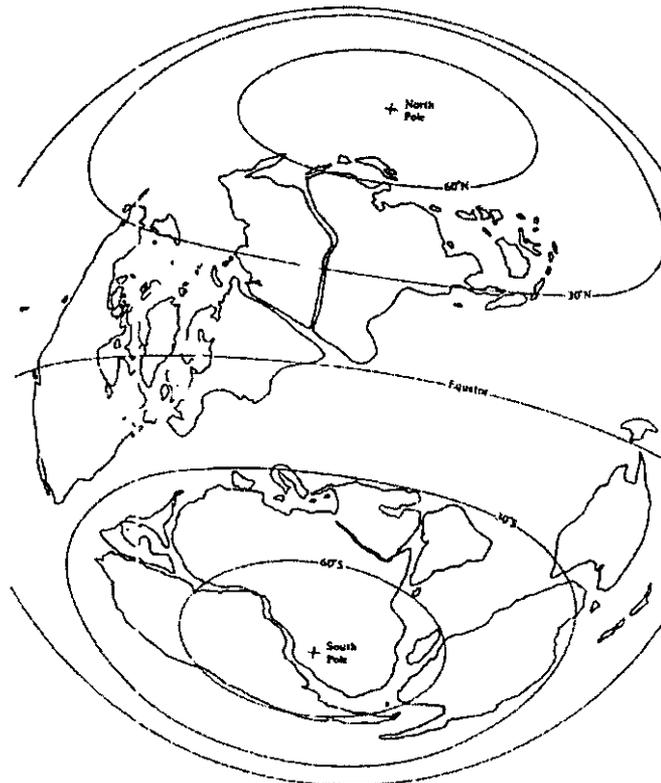


Figura 4.3 El Silúrico. Gondwana se encontraba aproximadamente a los 30° de latitud sur. El polo sur se hallaba al suroeste de Africa y en el territorio que hoy es Bolivia. Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Sin embargo, el Silúrico fue el período menos frío dentro de lo que se considera el Paleozoico temprano, pues se han encontrado arrecifes de coral y calizas en la India y Australia, territorios que en este período estaban entre los 10° y 50° del hemisferio sur. Los arrecifes están extendidos en el centro-este de Estados Unidos, en ese tiempo muy cerca del ecuador geográfico.

Seyfert (1979), menciona: "los climas del Silúrico probablemente fueron muy semejantes a los tiempos modernos actuales, así lo indica la distribución de las rocas,

que son peculiares en cada tipo de clima que se ha encontrado en diversas regiones del mundo".

Se dice que durante el Silúrico se extendieron las plantas por diversas zonas del planeta, lo que muestra que no solamente el clima favorecía la expansión sino también la formación de los suelos que se habían originado con ayuda de la acción del viento y la lluvia. Los vegetales contribuyeron a mantener ambientes más frescos y húmedos en esos tiempos.

Las teorías que exponen las variaciones climáticas son muy diversas; no obstante, los desplazamientos de los continentes o deriva continental en el transcurso del tiempo, así como su posición geográfica son los principales acontecimientos que han dado origen a la disposición de los diversos climas.

Los grandes cambios climáticos que han experimentado las diversas regiones del mundo, a través de millones de años, se han debido en la mayoría de casos al desplazamiento paulatino de las porciones continentales en distintas direcciones. El Silúrico no fue la excepción, pues las rocas indicadoras de las condiciones atmosféricas provienen de áreas ubicadas en ambientes que brindaron esas características.

Se considera que a medida que el continente emergía durante el Silúrico Superior comenzó a prevalecer el clima seco en la región centro-oriental de Estados Unidos de Norteamérica, donde adquirió las características de una cuenca de desierto. Las lutitas grises depositadas en aguas muy saladas, contienen horizontes de sal y yeso; materiales propios de los climas áridos y extremos.

Según Moody (1985), durante el Silúrico, las zonas sur y norte de la República Mexicana comenzaban a emerger y daban indicios de la configuración que se conoce en la actualidad. El océano cruzaba el territorio aproximadamente a la latitud de los 30° del hemisferio sur, razón por la que las condiciones de aridez pudieron ser persistentes.

#### 4.2.4 Devónico

Este período comprende de hace 400 a 350 millones de años. En el Devónico, el clima sigue siendo cálido y homogéneo. La intemperización productora de óxidos de hierro es muy extendida en el mundo y, los arrecifes coralinos también muy difundidos, indican la existencia de mares cálidos.

Según William (1983) citado por Vivas (1992), el clima cálido a principios del Devónico se debió a que América del Norte y Eurasia eran esencialmente continentes de poca altitud. Después vino una perturbación orogénica que levantó las montañas, lo que condujo a climas moderados. Sin embargo, la formación de depósitos de anhidrita puede ser prueba que por lo menos algunas partes de Estados Unidos y Europa eran

áridas.

Dumbar (1980), indica: "en el Devónico no hay duda que los climas variaron de acuerdo con la disposición del relieve, como sucede actualmente. Aunque existen capas rojas que parece ser se originaron de vertientes húmedas y calientes, en Montana y Alberta, lo que prueba una aridez extrema que permitió la precipitación de la anhidrita".

También en las regiones de Old Red en Rusia, se hallan depósitos salinos, con lo que se infiere que el clima presentó condiciones de aridez.

Al final de este periodo la vida se caracterizaba por la gran expansión de las plantas terrestres, como, los helechos de semilla y árboles con escamas. Las plantas con semilla iniciaron su existencia como forma de evolución. Los animales invertebrados estaban representados por corales, esponjas y gasterópodos, y todavía había trilobites. Los insectos comenzaban a aparecer.



Figura 4.4 El Devónico. Este fue el periodo de grandes cambios continentales, y por consiguiente, de las variaciones en los patrones climáticos. Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Como ya se dijo, los 50 millones de años que duró el periodo, ocurrieron fenómenos muy trascendentes, como la continuación del desplazamiento de los continentes y la

elevación extensiva de los sistemas montañosos. El surgimiento de relieve más elevado fue un factor que motivó variaciones y cambios climáticos en los correspondientes espacios.

La elevación de las montañas mediante procesos geológicos condujo a la modificación del clima local y regional. El ascenso progresivo del relieve va cambiando en el transcurso de millones de años, de climas cálidos a templados y probablemente fríos. Durante la orogenia del Devónico surgió la cadena orográfica de los Apalaches que se extendió desde el sureste de Pennsylvania hasta la bahía de Hudson, su curso siguió una dirección aproximada de sur a norte.

En el transcurso del Devónico, la zona marina que separaba a la República Mexicana se estrechaba y cada vez más cerca estaba la zona norte de la zona sur, se evidenciaba las penínsulas de Yucatán y Baja California. El Golfo de México comenzaba a adquirir forma. Todavía gran parte de Norteamérica se encontraba en el hemisferio sur, y México era atravesado por la franja subtropical de climas áridos.

Las estructuras montañosas crean zonas de barlovento y sotavento. El viento húmedo que toca los costados de barlovento mantiene escenarios físicos con climas y organismos que se desarrollan óptimamente en esos lados, en tanto, en el costado de sotavento la escasez de humedad confina espacios semisecos. En los depósitos de sotavento se han encontrado depósitos salinos y de anhidrita, razón por la que se infiere que existieron esos tipos de áreas, y en la época moderna son pruebas de climas secos.

Los depósitos salinos también se han hallado en el centro de Canadá y al sur de Alemania. En épocas pasadas como hoy en día algunas áreas que se encuentran muy alejadas del mar presentan situaciones de sequedad o de aridez, como es el centro-oeste de Estados Unidos, el Sahara, centro de Asia y de Australia.

#### 4.2.5 Carbonífero

El Carbonífero abarca de hace 340 a 270 millones de años. El ambiente característico fue el siguiente: los sedimentos terrestres con restos de plantas hablan elocuentemente de clima húmedo y caliente que prevaleció en muchas partes del mundo durante las principales etapas de formación del carbón. No hay duda de que la vegetación que se encuentra en las capas de carbón creció en regiones pantanosas donde se fue acumulando; esto se comprueba con las raíces fósiles que se conservan en las arcillas que subyacen al carbón en muchos lugares. Los follajes tan bien conservados en las lutitas indican una marcada humedad.

Lotze (1970), menciona: "los hundimientos del terreno en etapas posteriores al Carbonífero, favorecieron la acumulación y la conservación de restos orgánicos que más tarde se transformaron en hulla. Toda la abundante vegetación es sin duda, el predominio de un clima tropical muy húmedo".

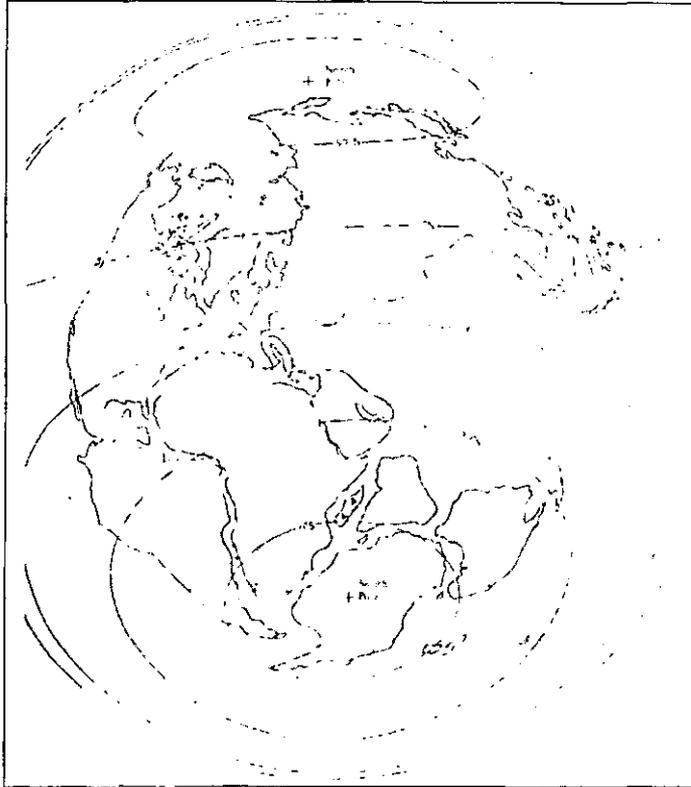


Figura 4.5 El Carbonífero. Durante este período existieron mares interiores en Europa y Norteamérica. Al final ocurrió una glaciación que afectó a Suramérica, Sudáfrica, la India, Australia y la Antártida . Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Durante este período muchas regiones del mundo tenían muy poco relieve, por lo que los pantanos eran abundantes, sobre todo en lugares cercanos a los mares. En esos tiempos los mares interiores se encontraban por muchas áreas continentales, con lo que repartían mayor humedad. También se dice que a finales del Paleozoico, el continente de Pangea estaba aún unido y se encontraba muy cerca del ecuador, por lo que le favorecieron climas cálidos y húmedos.

Se dice que durante el Carbonífero el ambiente de los continentes había cambiado mucho; los paisajes antes desnudos estaban ahora cubiertos de gigantescos helechos y plantas exóticas que alcanzaron grandes tamaños. El oxígeno desprendido de las plantas incrementó las formas de vida. La exuberante vegetación y restos de animales que se acumuló en las cuencas, formó enormes depósitos de carbón, en Alemania, Inglaterra, Francia, Bélgica, Sur de Rusia y Norteamérica.

Los climas del Carbonífero eran en general húmedos y cálidos, y la vegetación indica que era tropical y subtropical en muchas áreas, pero se cree que estos paisajes no comprendían a toda la Tierra, ya que en ciertos sitios hay pruebas de condiciones de aridez, y en las montañas más altas debieron prevalecer las bajas temperaturas.

A lo largo del Carbonífero la mayor parte de los continentes se encontraban entre los

30° norte y sur, abarcando las zonas ecuatoriales, tropicales y subtropicales. La elevada cantidad de luz, calor y humedad, favoreció el desarrollo de las plantas.

También se acumuló la cantidad, la diversidad y el tamaño de la vegetación. Los restos de la abundante vegetación se han encontrado en yacimientos de carbón en Europa, Asia y Norteamérica.

Los climas del Carbonífero fueron en general cálidos y húmedos, pero se tienen pruebas de la existencia de períodos fríos y glaciales. Seyfert (1979), dice: "existieron tres períodos fríos en el Carbonífero. El primero y probablemente el segundo se presentaron al principio, las pruebas se encuentran en Bolivia, Argentina y Sudáfrica. Los depósitos glaciares se hallan en las montañas elevadas, razón por la que se piensa que fueron glaciaciones alpinas. El Carbonífero terminó con una glaciación, las reminiscencias se han encontrado en Suramérica, África, Australia e India.

Al observar el mapa del Carbonífero se puede inferir hasta donde afectaban las glaciaciones; esto sucedía del polo hacia los 60° de latitud sur. En este período, Suramérica, África e India estaban desplazadas hacia latitudes mayores, y la Antártida estaba en pleno polo sur.

Durante el Carbonífero, México se encontraba entre los 10° sur y el ecuador geográfico, mientras Estados Unidos y Canadá se ubicaban entre el ecuador y los 30° de latitud norte. Las regiones modernas del Mediterráneo se ubicaban en las franjas ecuatoriales y Eurasia se encontraba entre el ecuador y los 60° de latitud norte.

Se piensa que la enorme cantidad de vegetación que proliferó en este período condujo a almacenar bastante dióxido de carbono que existía en la atmósfera. Con la reducción de este gas, también decreció el efecto invernadero, y asimismo se contribuyó al descenso de las temperaturas.

La deriva de los continentes es la causa más patente de los cambios climáticos a través de los millones de años. Los desplazamientos de Pangea (unión de tierras) sobre todo hacia el norte y hacia el oeste, junto con la fragmentación de ésta por diversas latitudes condujeron a las transformaciones climáticas.

Al final del Carbonífero, en Europa y Norteamérica, aparece un clima cálido y árido. Mientras en Argentina y Australia surgen indicios de una glaciación que se extendió a principios del Pérmico.

En el Carbonífero la República Mexicana ya presenta una configuración muy similar a como se conoce en la actualidad, y la mayor parte de su territorio se halla muy cerca del ecuador geográfico, pero todavía en el hemisferio sur. Las condiciones climáticas debieron ser de carácter ecuatorial y tropical. Los vientos al pasar por un gran canal llevaban gran humedad al territorio mexicano, pero el manto acuoso no era muy grande y posible que la gran continentalidad de África (se encontraba hacia el este) permitía situaciones de aridez en cierta parte del año.

#### 4.2.6 Pérmico

El Pérmico es el último período de la era Paleozoica y va desde hace 270 a 225 millones de años. Durante el Pérmico, grandes áreas de los continentes meridionales estuvieron cubiertas por mantos de hielo. En África del Sur existen pruebas de una glaciación; la antigua tilita llamada Dwyka que data de principios del Pérmico y, grandes cantos rodados que descansan sobre una superficie rayada y pulida, sobre la que se movió el hielo.

La capa de hielo prácticamente cubrió todo el sur de África y Suramérica, al menos, hasta la latitud de los 20° sur, extendiéndose a Madagascar, que entonces era parte del continente. El clima cambió después, los médanos de arena y los extensos depósitos de sal y yeso en las regiones Central y Occidental de Estados Unidos de América, Europa, China y Australia, indican que el vasto interior era más árido que en otra época. El efecto de aridez se presenta en áreas locales y regionales.

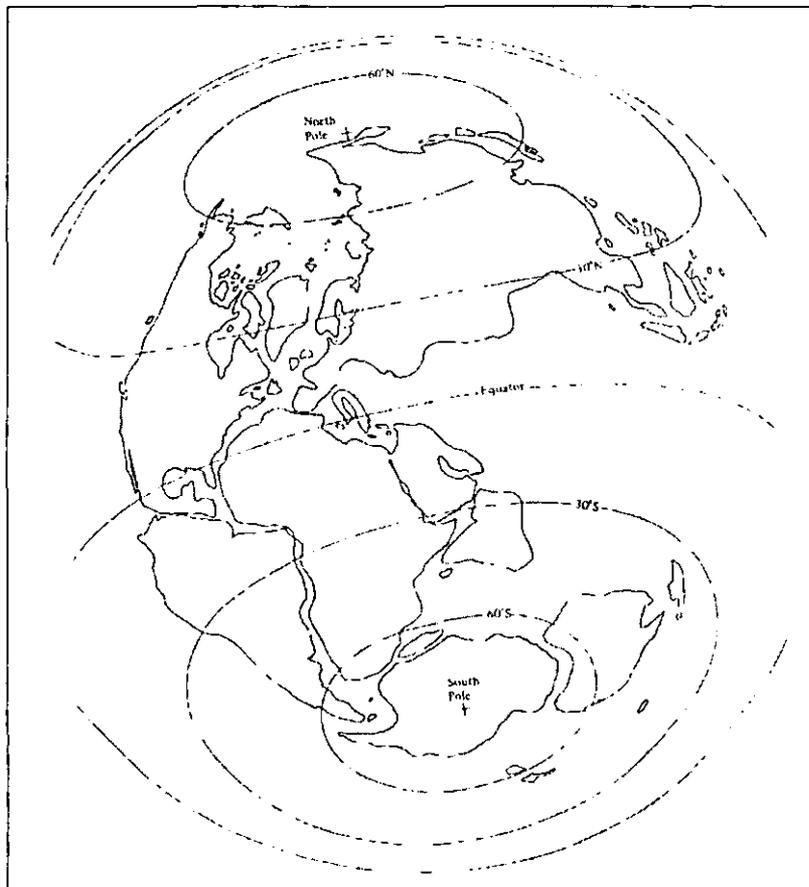


Figura 4.6 El Pérmico. La reconstrucción muestra el supercontinente llamado Pangea. Ocurrieron grandes extinciones de organismos como consecuencia de la regresión marina y de los cambios climáticos. Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Al comienzo del Pérmico el clima todavía era frío como consecuencia de la prolongación de la glaciación final del Carbonífero, pero paulatinamente las temperaturas se fueron incrementando en el transcurso del período. Existían espacios

glaciares continentales en Norteamérica, Eurasia, Australia, Antártida, África, India y Suramérica. Se han encontrado depósitos de evaporitas entre los 15° y 30° norte, especialmente en las zonas centrales de Estados Unidos y Siberia.

En Estados Unidos, las capas de sal se extendieron desde Kansas hasta Nuevo México, y se estima que incluían unos 30 billones de toneladas de esa sustancia, con lo que se supone que la evaporación fue muy fuerte en un antiguo mar somero.

Como en todos los períodos anteriores, en el Pérmico existieron diferentes tipos de climas, pero prevalecieron los cálidos en la mayor parte del tiempo. Las causas de los grandes cambios climáticos se siguen explicando con la expansión de los continentes, pues al contemplar el mapa del Pérmico se vuelven a notar los desplazamientos continentales.

Las glaciaciones del Pérmico se extendieron de los polos hacia latitudes menores llegando los efectos hasta los 50° de latitud y en las zonas elevadas de las montañas situadas en los trópicos. Las bajas temperaturas pudieron repercutir en toda la Tierra, pero los eventos más álgidos se daban alrededor de los polos.

Desde el principio hasta el final del Paleozoico la mayor cantidad de masa continental se disponía cerca del polo sur, y de aquí se dieron los grandes cambios climáticos con el paso de millones de años. Pero también los mayores efectos de las glaciaciones ocurrieron en las cercanías del polo sur, debido a la escasez de oceanidad.

El polo norte a lo largo del Paleozoico estuvo libre de áreas continentales. Se sabe que el agua es un termostato que almacena eficientemente el calor del Sol y lo desprende lentamente, creando ambientes relativamente cálidos en esos espacios. En el polo norte se presentó temperaturas más elevadas que en el sur, no solamente por esa cualidad sino porque seguramente llegaban muy cerca las corrientes marinas cálidas. Sin embargo, cuando ocurrían las glaciaciones las aguas superficiales debieron permanecer congeladas por mucho tiempo.

Al final del Pérmico, se han encontrado restos de grandes reptiles en los lechos rojos, sobre todo en Suráfrica y Rusia, lo que sugiere un clima más templado. Gran parte de Suramérica se había desplazado más al norte, y México se encontraba en pleno ecuador geográfico, en virtud de esto predominaban los climas cálidos y húmedos.

La zona norte de la República Mexicana perteneció desde mediados del Paleozoico a la gran placa norteamericana, sin embargo, el territorio que ahora es México se estrechaba hasta formar una península que se ubicaba aproximadamente a los 30° de latitud sur. La desintegración de Pangea desde el Precámbrico permitió la emigración de los continentes hacia varios rumbos del planeta. Norteamérica junto con una parte de lo que es México comenzó a desplazarse hacia el noroeste. Los estados mexicanos norteños como es Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León son los que presentan las rocas más antiguas que datan del Paleozoico.

Rzedowski (1978), menciona: "durante el Paleozoico en México hubo grandes transgresiones y regresiones marinas que afectaron a la mayor parte del territorio del país, pues sus conexiones con las masas terrestres situadas más al sur no eran permanentes".

Se deduce que al avanzar y retroceder el mar por ciertos períodos hacia el territorio mexicano, estuvieron variando las condiciones de humedad, destacando probablemente épocas áridas y lluviosas. El territorio mexicano al ir encontrando diferentes fajas tropicales y ecuatoriales va adquiriendo situaciones climáticas según las diversas latitudes, pero es de suponer que también existieron climas regionales y locales en algunas áreas.

### 4.3 Mesozoico

Es la segunda de las eras de la historia de la Tierra, data desde 225 hasta 70 millones de años. Se divide en tres períodos: Triásico, Jurásico y Cretácico. Para fines de esta era se destacan las peculiaridades más sobresalientes del clima.

El clima del Mesozoico fue en general más cálido que el actual. Esto favoreció el desarrollo de los reptiles que se expandieron por la Tierra y evolucionaron en muy diversas formas. Había desde muy pequeños hasta gigantescos, como los dinosaurios, los que algunos científicos consideran criaturas de sangre fría, y para vivir necesitaban suficiente calor que encontraron en el medio ambiente.

#### 4.3.1 Triásico

El Triásico es el primer período de la era Mesozoica, su duración se estima comprendida entre 225 y 180 millones de años. Desde finales del Pérmico el clima ya era templado y cálido, lo que favoreció la propagación muy amplia de las plantas y los animales.

Matthews (1979), opina: "a pesar de la amplia glaciación del final del Pérmico, en las rocas del Triásico no se encuentra ningún depósito de tipo glacial. Así, es probable que los dinosaurios no podrían soportar climas fríos, pues los reptiles modernos y los anfibios, sin excepción, se entorpecen y debilitan, cuando las temperaturas descienden hasta el punto de congelación. Por ejemplo; lagartos, cocodrilos, tortugas terrestres, boas, lagartijas, etc., todos viven en regiones tropicales y subtropicales".

No obstante, otros autores como Martin Lockley, citado por Matthehews (1979), afirman que a principios del Triásico, el clima pasó de frío a templado, pues imperaba una transición hacia los climas cálidos que caracterizaron más tarde al Mesozoico. Pero también existieron lugares de aridez, los que se han encontrado al sur y oeste de Norteamérica.

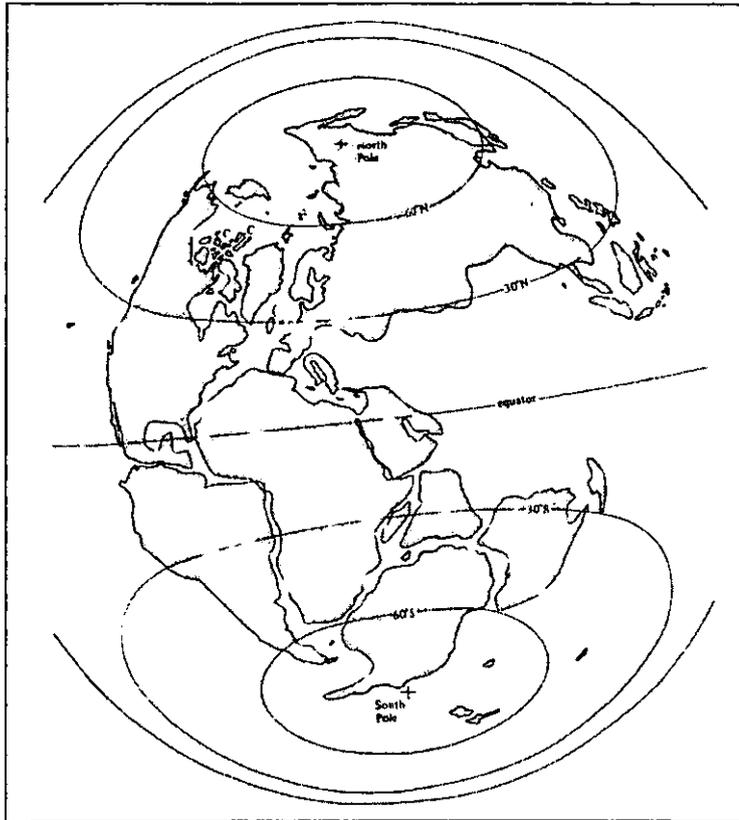


Figura 4.7 El Triásico. El mar de Tetys ocupó gran extensión en las zonas ecuatoriales y tropicales del hemisferio norte. Comenzaba a formarse la gran continentalidad en el norte de África y Laurasia. México adquiría forma. Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Las zonas de clima desértico que corresponden a esta época pudieron deberse, como en la actualidad, a franjas de subsidencias, a una gran continentalidad y al relieve elevado adyacente.

En el Triásico, se comenzó a poblar la Tierra por muchísimas especies de organismos. Los bosques estuvieron dominados por coníferas, muy semejantes a los pinos modernos. La maleza consistía en helechos, helechos arborescentes y juncos. Por el Triásico Medio, los corales se establecieron formando arrecifes en los canales marinos a lo largo de la costa del Pacífico de Estados Unidos de Norteamérica y Alaska. Estos acontecimientos, son prueba que los climas fueron templados, cálidos y húmedos; pero al final disminuyó la temperatura, lo que probablemente hizo declinar el desarrollo de muchas especies.

Al principio del Triásico, el supercontinente llamado Pangea se comenzó a fragmentar con mayor rapidez. La expansión iba formando grietas, que al mismo tiempo se rellenaban con material magmático. Al final del Triásico, las porciones continentales del norte llamadas Laurasia se habían separado ya del grupo del sur, la denominada Gondwana, formando más o menos dos grandes masas.

En este período las zonas ecuatoriales atravesaban México, norte de África (Sahara) y el norte de Arabia. El norte de Suramérica, centro de África y centro-sur de Arabia se encontraban en las zonas tropicales y subtropicales del hemisferio sur. Alrededor de los 60° estaba la Antártida; la India y Australia se ubicaban a los 30° de latitud sur, pero se trasladaban hacia el norte. Estados Unidos, norte de África y sur de Europa se hallaban en las latitudes de los 20° norte. Canadá, Europa y Asia se encontraban entre los 30° y 60° norte.

En el Triásico las formaciones orogénicas eran muy notorias, ya existían los Apalaches, y las Rocallosas seguían elevándose. Los conjuntos de montañas actuaban, como hoy en día, como pantallas meteorológicas, confinando en sus vertientes distintos tipos de climas.

A principios del Mesozoico, los climas de la Tierra seguían siendo muy parecidos a los del final del Paleozoico, pues la distribución de tierras y aguas no habían cambiado mucho. En el Triásico la República Mexicana se desplaza hacia el noroeste, pero todavía permanece en el ecuador geográfico. Las corrientes marinas cálidas que partían del ecuador debieron desplazarse muy cerca de las costas contribuyendo con su humedad a los climas lluviosos de las zonas de barlovento.

#### 4.3.2 Jurásico

El segundo período del Mesozoico tuvo una duración estimada entre hace unos 180 a 135 millones de años de antigüedad. Se cree que las condiciones desérticas también se presentaron en este período en Europa y Norteamérica. En la región meridional de Estados Unidos, aflora la arenisca Navajo que es una de las formaciones más grandes del mundo; está constituida principalmente por arenas de médano. Este tipo de roca es señal de tiempos áridos.

En el Jurásico se produjeron grandes cantidades de carbón, en gran parte del mundo. En el subsuelo de algunas superficies de Siberia, Australia, Tasmania, Estados Unidos, México, Groenlandia, India, China, Spitzberg, Suráfrica y Antártida se hallan depósitos de carbón de este período. También abundan los arrecifes de coral, esponjas y briozoarios (animales que recubren las rocas marinas). Estos organismos de ambientes cálidos, se encuentran ahora en rocas sedimentarias en Canadá, Groenlandia, China y Europa.

Los climas del Jurásico Medio y Superior fueron más moderados y uniformes que en la actualidad. Hacia final del período los más grandes dinosaurios vagaron por Estados Unidos, norte de México, Europa y Asia. En las rocas abundan los arrecifes de coral, esponjas y briozoarios, lo que puede indicar la presencia del clima cálido en ese tiempo.

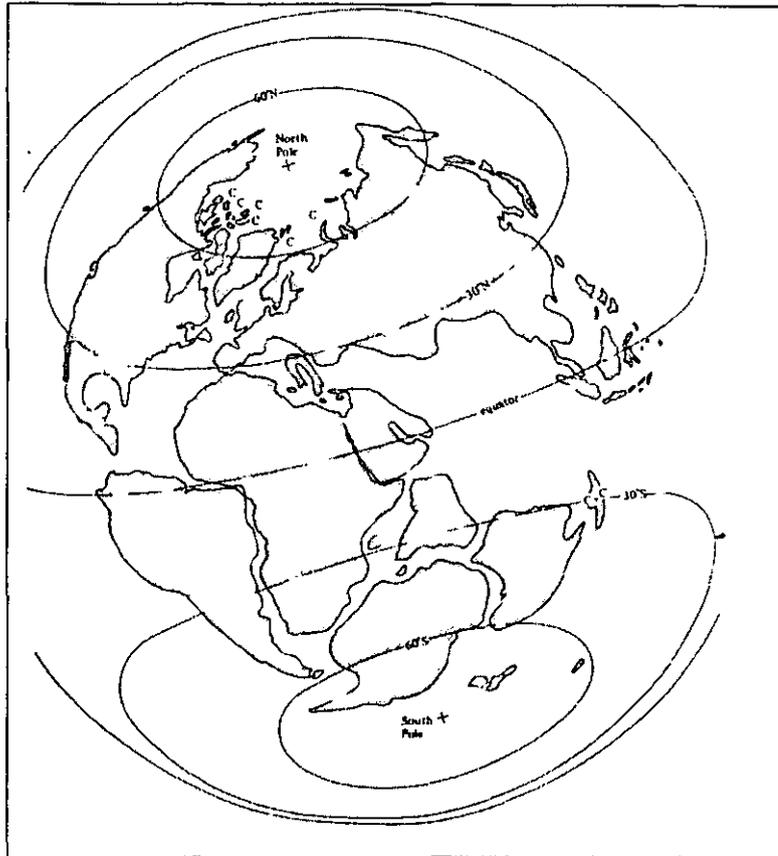


Figura 4.8. El Jurásico. Pangea se fragmenta con rapidez. La India se separa de la Antártida. Existió mucha humedad en las áreas continentales. Moody Richard, Prehistoric World, 1985.

El clima cálido y húmedo del Jurásico, fue declinando hacia el final del período, pero se cree que no la suficiente como para provocar una glaciación. No obstante, los extensos depósitos de yeso en Wyoming y de sal en Luisiana también sugieren un ambiente de aridez local.

En este período la separación de los continentes es mucho más notoria: América del norte está muy alejada de África y Europa con lo que se ensanchó de manera apreciable el Atlántico. México y Centroamérica comienzan a parecerse a como se encuentran en la actualidad. Europa sigue su traslado hacia el norte. Asia tiende hacia el sur quedando la mayor parte de sus territorios entre los 30° y 60° norte. África comenzaba a presentar la posición actual con el ecuador geográfico al sur de la zona del Sahel. Suramérica aún seguía muy cerca de África pero continuaba avanzando hacia el norte, y se ubicaba entre el ecuador y los 60° sur. La Antártida permanecía cerca del polo sur. La India todavía estaba cerca de los 30° sur, pero su dirección era hacia el norte. Australia se separaba aún más de la Antártida y se inclinaba hacia el norte.

En el Jurásico es cuando más depósitos de carbón se formaron; se han encontrado grandes proporciones en Asia, Europa, Australia y Norteamérica. Existen grandes cantidades importantes también en México, Spitzberg, Sudáfrica y Nueva Zelanda.

Cserna (1960), citado por Rzedowski (1978), asevera: "durante la primera mitad del Triásico tuvo lugar la orogénesis Coahuilense que afectó gran parte del país, desde Chihuahua hasta Zacatecas y Chiapas. El surgimiento de montañas permitió la creación de zonas de barlovento y sotavento, y con esto escenarios con condiciones de aridez y de humedad".

En el Jurásico, México está prácticamente establecido en el hemisferio norte con una posición muy cercana a como se conoce en la actualidad, mientras toda Suramérica comienza a orientarse con dirección norte-sur y se separa aún más de África, así el Océano Atlántico va ganando espacio, lo que permite que México posea un cuerpo mayor de agua hacia por el oriente y así los alisios se encargaron de transportar agua hacia las zonas continentales.

#### 4.3.3 Cretácico

El Cretácico comprende desde 135 hasta hace 70 millones de años. En las capas rocosas del Cretácico se conservan higueras, laureles, árbol de canela, helechos arborescentes, cicadáceas y palmas. De estos fósiles hay pruebas en Canadá, Groelandia, Siberia y Suramérica. En la actualidad esas especies están restringidas a las regiones tropicales.

Erickson (1991), comenta: "el Cretácico ha sido el intervalo más cálido de la historia de la Tierra, y los animales se extendieron en extrema abundancia. Se tenían temperaturas medias globales que eran 7° C más altas que en tiempos presentes".

Colbert (1988), citado por Erickson (1991), explica: "las huellas del iguanodonte (dinosaurio) del Cretácico, encontrado en Spitzberg (islas cercanas al círculo polar), confirman la idea de que el mundo de este período era principalmente tropical. Su colosal volumen les impedía resguardarse bajo tierra durante los rigores del invierno, como los lagartos y las serpientes. Lo más probable es que los grandes dinosaurios vivían en tierras de verano perpetuo".

Se cree que los dinosaurios carecían de regulación interna de temperatura, la cual estaba sujeta a las variaciones del ambiente. Si estas suposiciones son correctas, los dinosaurios vivieron en climas tropicales y subtropicales, como los cocodrilos y otros animales similares actuales. También hay que considerar que sus grandes cuerpos consumían cantidades importantes de vegetación y este alimento sólo es garantizado con la presencia constante del Sol.

Melendez (1979), concluye: "cuando el Cretácico finalizó, hace 65 millones de años, se extinguieron los dinosaurios, junto con el 70% de las otras especies, la Tierra se enfrió y por primera vez se desarrollaron dos casquetes de hielo permanente. Además, en realidad, los dinosaurios no se extinguieron todos al mismo tiempo, como a veces se ha pretendido afirmar, sino en etapas sucesivas, de la misma forma que acontece

con otros grupos biológicos. La razón más plausible, es que al final del Cretácico, el clima tropical uniforme, va siendo sustituido por otro con temperaturas más frías, ya que un cambio en la temperatura da la pauta para alterar los demás componentes atmosféricos".

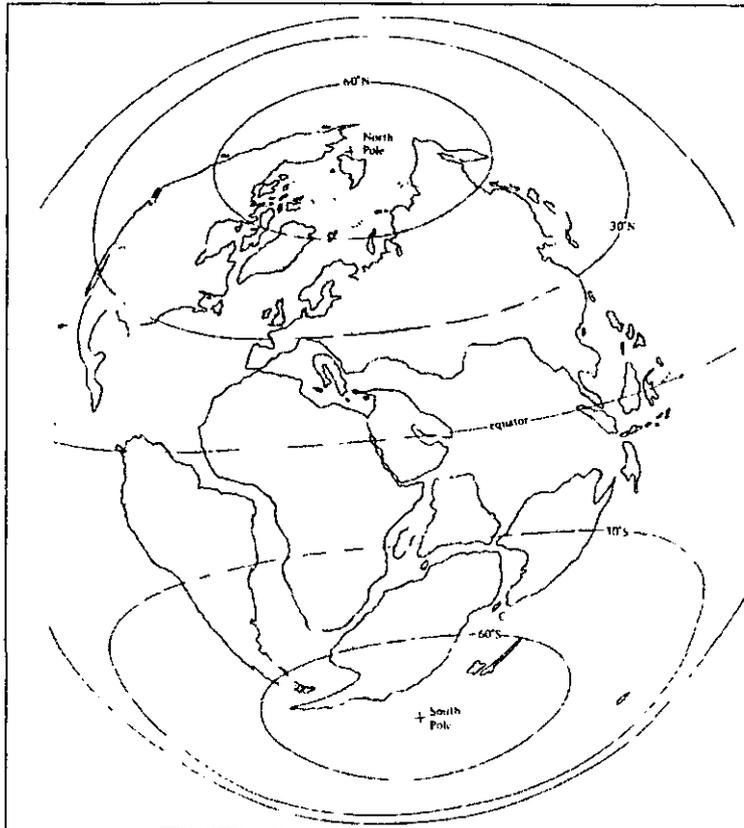


Figura 4.9 El Cretácico. Durante este período se formó el Océano Atlántico; Australia se separó de la Antártida. Por la configuración irregular de los continentes existieron grandes zonas húmedas. Moody Richard. Prehistoric World, 1985.

Por otra parte, en este período las zonas continentales se siguen separando con tendencia a conformar la situación actual. América del sur se aleja de manera considerable de África y se une totalmente el Atlántico del norte con el del sur. El océano Índico es prácticamente un golfo, rodeado por África, Arabia, India y Australia. El océano Pacífico sigue siendo el más grande, pero América sigue su marcha hacia el oeste. Gran parte de Asia sigue girando hacia el sur, pero hallándose en latitudes muy similares a como están en la actualidad. En la India todavía se ubicaba a los 25° de latitud sur. La Antártida se encuentra entre los 35° y 80° de latitud sur, pero continúa trasladándose hacia el polo sur.

El énfasis que se realiza en este período como en los anteriores, sobre todo en los desplazamientos continentales es para mostrar la evidencia de los cambios climáticos en este proceso, las áreas experimentan variaciones latitudinales y distancias diferentes con relación al mar. También hay que agregar que los movimientos

tectónicos producen levantamientos y hundimientos de los continentes, esto provoca necesariamente cambios climáticos.

Seyfert (1979), menciona: "durante el Cretácico existían mares y lagos someros en el interior de los continentes, los que moderaban los climas con su humedad, pero al llevarse a cabo levantamientos tendieron a extinguirse modificando la cubierta vegetal, lo que también transformó los patrones atmosféricos. Esta es otra hipótesis de la extinción de los dinosaurios al final del Cretácico".

La separación y la expansión de los continentes permitió a mediados del Cretácico que las aguas oceánicas penetraran más hacia sus interiores, lo que condujo a climas húmedos y un tanto cálidos, pues las corrientes marinas ecuatoriales podían introducirse a mayores latitudes.

Durante el Cretácico ocurrieron grandes erupciones volcánicas en varias regiones de la Tierra. Los volcanes muy activos arrojaron enormes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que pudo haber conducido a un incremento ambiental. Este es el segundo período considerado más cálido de la historia de la Tierra (después del primitivo calentamiento del Prepaleozoico), aunque algunos investigadores lo catalogan como el más tórrido.

Rzendowski (1978), menciona: "en el Cretácico tardío el mar cubría casi todo México, pero al terminar ese período y durante la Orogénesis Laramídica o Hidalguense comenzó la emersión definitiva, que rápidamente involucró todo el territorio, con excepción de la planicie costera nororiental, península de Yucatán, Tabasco y parte de Chiapas, que no se levantaron sino paulatinamente a lo largo del Terciario".

Las condiciones climáticas fueron muy variables durante el Cretácico en México, con la emersión continental aparecieron montañas y mayor continentalidad. El centro del país al ser una todavía una península recibía la influencia ecuatorial por el sur.

López (1990), dice: "el Cretácico es uno de los sistemas más extendidos en México, y es característica la presencia de calizas y evaporitas (yeso, calizas y dolomías). Se desarrollan las angiospermas con gran propagación de las dicotiledóneas".

Las plantas que se desarrollaron en el Cretácico se beneficiaron con el clima cálido y húmedo, situación que favoreció su permanencia y propagación a mayores territorios, que después formaron grandes depósitos de carbón.

Según investigaciones realizadas en los años ochenta del siglo XX, al final del Cretácico cayó un meteorito al norte de Yucatán, y al impactar sobre la superficie, primero provocó un incendio. Posteriormente, los materiales desprendidos, como humo y polvos llegaron hasta la estratosfera, lo que condujo a un posible oscurecimiento que permitió el enfriamiento de la Tierra.

#### 4.4 Cenozoica

El término Cenozoico se deriva del griego, y significa nueva vida, que designa la tercera de las principales eras geológicas con organismos. Ésta data de hace 70 millones de años hasta la actualidad. La Cenozoica se divide en dos periodos que son el Terciario y el Cuaternario. El Terciario comprende los siguientes periodos o épocas: Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno. El Cuaternario abarca el Pleistoceno y el Holoceno.

A través del Cenozoico, el clima de Europa y Norteamérica siguió siendo en parte cálido y tropical. Se dice que las palmas crecían en el norte de Alemania. Un amplio estudio de los vegetales en esas regiones del planeta permiten deducir los climas en esta era.

Dumbar (1980), infiere: "en los periodos; Paleoceno, Eoceno y Oligoceno, los árboles de tipo tropical, ahora restringidos a bajas latitudes estaban extendidos a través Norteamérica y Europa.

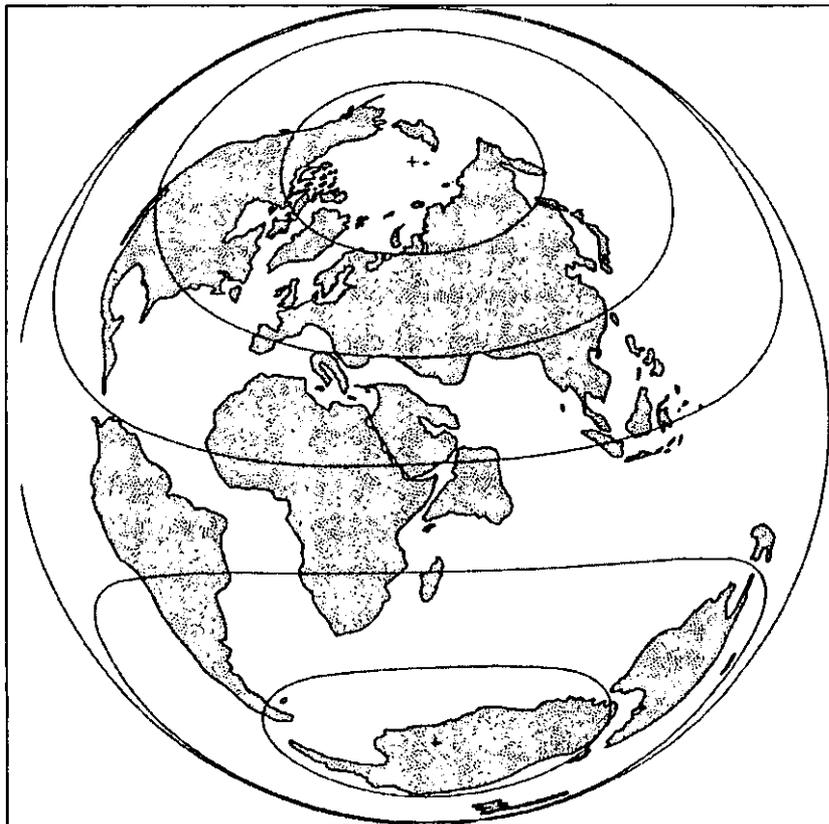


Figura 4.10 Paleoceno. Es el periodo más antiguo del Cenozoico. Los continentes empezaban a configurarse como se presentan en la actualidad. Sin embargo, Australia se encontraba todavía muy cerca del polo sur, mientras la India se alejaba del ecuador geográfico. Moody Richard, Prehistoric World, 1985.

Los lagartos llegaban hasta Dakota del Norte, indicando con esto, que los climas eran

muy semejantes al de La Florida y Luisiana en la actualidad".

Al mismo tiempo los bosques de climas húmedos existieron en altas latitudes, principalmente en Alaska, Groenlandia y norte de Siberia. Fueron dominados por pinos gigantes, árboles caducos, tales como las hayas, castaños y olmos. Se cree que aun en Alaska hubo cicadáceas, magnolias e higueras.

Al principio del Oligoceno hubo una emigración hacia el sur, de varios conjuntos de plantas, indicando un enfriamiento gradual de los climas. Mientras tanto, en el Mioceno y el Plioceno, el clima fue más variado, pues se deducen ambientes cálidos, húmedos y áridos. En el Mioceno, en el estado de Nevada (Estados Unidos), se encuentran yacimientos de sales. Sin embargo, de acuerdo a estudios realizados, al principio del Plioceno, existió un régimen de precipitación entre 300 y 400 mm anuales, al occidente de Nevada; en la actualidad apenas es de 100 mm.

Hasta el Plioceno los climas de manera general fueron cálidos y húmedos, porque después las temperaturas tendieron a descender, lo que dio origen al comienzo de una glaciación.

El Terciario se caracterizó por la expansión del océano Atlántico y la consecuente reducción del océano Pacífico y en ensanchamiento de la cuenca del océano Indico. La India se une con Asia y Europa lo que condujo a la formación de montañas muy elevadas, como son las cordilleras del Himalaya. Posteriormente, la erosión de las montañas formó grandes llanuras que contribuyeron al origen de suelos con mucho más diversidad de materiales, que después albergaron a la vegetación y a los mamíferos.

Al final del Terciario empezó un enfriamiento paulatino en varias regiones de la Tierra, sobre todo en las elevadas latitudes y en las áreas altas de las montañas. Australia y Antártida comenzaron a separarse durante el Paleoceno y Eoceno, hace aproximadamente 54 millones de años. También a principios del Terciario la India se separa de las islas Seychelles. El golfo de California y el Mar Rojo comienzan a abrirse durante el Mioceno, hace 15 millones de años, pero la separación se intensificó hace unos 4 millones de años, la cual sigue hasta la actualidad.

El enfriamiento mundial que comenzó en el Cretácico se interrumpió por un ascenso en las temperaturas que se registró en el Paleoceno. En el Paleoceno y Eoceno predominaron climas con características tropicales que se extendieron en regiones de mayores latitudes. Existen restos de palmeras y corales en Alemania, Estados Unidos y Alaska.

Lotze (1970), argumenta: "en el Paleoceno y el Eoceno se presentó una separación de Australia de la Antártida, esto sucedió entre hace 54 a 37 millones de años. Los indicadores se hallan en sedimentos de origen marino que existen en Australia y Antártida. Arabia Saudita se separó de África hace aproximadamente 10 millones de años, durante el Mioceno y el Plioceno. El golfo de California comenzó a abrirse a

partir del Mioceno, separándose así Baja California del resto de México; en la actualidad, a través de la falla de San Andrés, la expansión es de cinco centímetros por año".

Asimismo, en todos los continentes a lo largo del Terciario se levantaron grandes conjuntos montañosos. En el Eoceno se elevaron aún más las montañas Rocallosas, como consecuencia de los plegamientos del relieve con la orogenia Larámide. En el Oligoceno (hace unos 40 millones de años), se presentó el episodio llamado orogenia alpina y causó la elevación de los Alpes, los Pirineos, los Atlas y todo el centro de Europa.

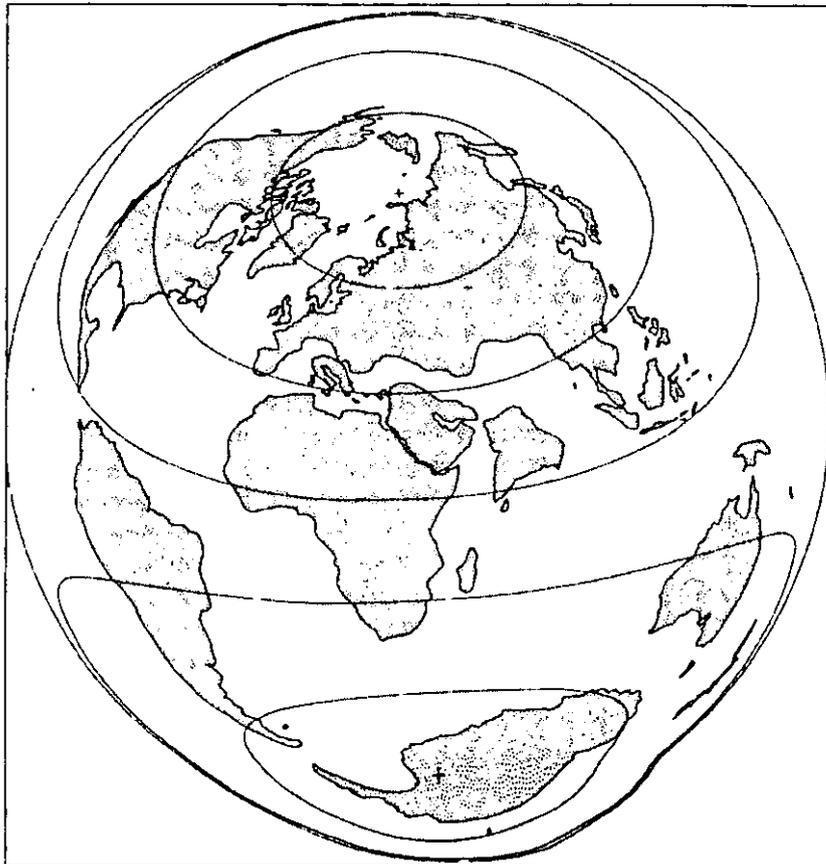


Figura 4.11 Oligoceno. En esta época, Centroamérica comienza a unirse con Suramérica; y posiblemente las corrientes marinas cálidas (que afectaban este espacio) cambian su curso, modificando así, el clima local y regional de la zona. Moody Richard, Prehistoric World, 1985.

Cserna (1960), citado por Rzedowski (1978), menciona: "los principios del Eoceno fueron el escenario de la Orogénesis Hidalguense, responsable del plegamiento y levantamiento de la Sierra Madre Oriental, muchas montañas paralelas que corresponden a la Altiplanicie, a la Sierra Madre del Sur y las sierras del norte de Oaxaca y Chiapas. El vulcanismo alcanzó su primera cúspide a mediados del Terciario (Oligoceno-Mioceno), cuando abarcó toda el área de la Sierra Madre Occidental, grandes porciones de la Altiplanicie, al igual que partes de Baja California y del sur de México".

Con el surgimiento de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, así como las sierras del sur, las condiciones climáticas en la República comienzan a presentar ambientes característicos del relieve y la altitud, y es posible que se hayan diversificado los mesoclimas y microclimas. El levantamiento de la Sierra Madre Oriental resulta relevante ya que intercepta el trayecto de los vientos alisios y crea una enorme zona de barlovento con disposición abundante de precipitaciones hacia la llanura costera del Golfo, mientras la zona de menor humedad de sotavento coincide con la Altiplanicie y sus montañas adyacentes. Así, la Sierra Madre Oriental contribuye en gran medida en la distribución de los diferentes tipos de climas en el territorio nacional.

Mosser (1975), menciona: “previamente al Eoceno el espacio en el que se sitúa la Cuenca de México, estaba inundado por mares tropicales someros. Al principio del Terciario (Paleoceno-Eoceno), éstos se retiraron al plegarse los sedimentos calizos y levantarse paulatinamente el continente. Así se inició la regresión de los mares en el Terciario y comenzó el vulcanismo, que con el tiempo produjera espesores de 2 kilómetros o más de lavas, tobas y brechas”.

La actividad volcánica durante el Eoceno debió incrementar el vapor de agua y el dióxido de carbono, esto condujo a la formación del efecto invernadero y la manifestación de precipitaciones. El exceso de dióxido de carbono fue aprovechado por las plantas para su crecimiento y desarrollo.

Mosser (1975), menciona: “fuerte vulcanismo se inició a fines del Eoceno en la Cuenca de México, después del plegamiento de las formaciones marinas y después de la emersión del mar. Existían cantos rodados de calizas que aparecieron formando rellenos en esas fosas tectónicas. Estos rellenos están intercalados con yeso, son indicios de lagunas que se evaporaron en un clima semiárido. Estos materiales se han encontrado a 2265 metros de profundidad. El vulcanismo sepultó dichos depósitos y esta actividad que se prolongó hasta el Pleistoceno.

Durante el Mioceno se presenta otra gran actividad volcánica dando como resultado el origen de la Sierra Madre Occidental y más tarde en el Plioceno surge la Sierra Volcánica Transversal. Estas dos cadenas montañosas definen los climas del occidente y centro de la República Mexicana; los vientos monzónicos provenientes del Pacífico toman como rampa las pendientes del relieve para distribuir su humedad, sin embargo, el proceso solo es importante en el verano. Mientras que las elevaciones de la Sierra Volcánica Transversal ha relegado los climas templados y semifríos característicos de los grandes valles del centro del país, como son el de Toluca, México, Tlaxcala y Puebla. La trayectoria de los ríos por las montañas, la formación de los lagos y la cobertura vegetal condicionaron los climas templados y húmedos en los principales sistemas montañosos, así como de los valles elevados.

Los valles de Toluca, México, Tlaxcala y Puebla, se comenzaron a cerrar desde el Oligoceno, por motivos de la gran actividad volcánica y finalmente en el Plioceno obstaculizan los antiguos cauces hacia el Pacífico, por el levantamiento de la Sierra

Volcánica Transversal. Con el acontecimiento anterior, quedan las condiciones físicas para dar lugar posteriormente a la formación de lagos, como son los de Lerma, México y lechos lacustres en Puebla, Tlaxcala e Hidalgo. Posteriormente al Pleistoceno esos grandes mantos acuosos se fragmentan y dieron origen a lagos individuales.

Desde antes en el Oligoceno, ya se habían formado extensos lagos en Jalisco y Michoacán, como consecuencia de los fracturamientos que estaba experimentando el "arco Tarasco" sobre el fracturamiento fundamental (dirección de la Sierra Volcánica Transversal). Así, quedaron formados los lagos de Chapala, Pátzcuaro y Janitzio.

Con las grandes glaciaciones que ocurrieron durante el Pleistoceno, los deshielos favorecieron la acumulación de agua suficiente en los lagos de las zonas altas de la República Mexicana. La vegetación de las regiones confinó un ambiente húmedo y fresco. Sin embargo, con el avance y retroceso de los glaciares, aunado a la erosión pluvial, los lechos fueron acumulando materiales paulatinamente.

Los eventos glaciales pudieron estar relacionados con la variación del eje de rotación de la Tierra, razón por la que en la última gran glaciación del Pleistoceno (Wisconsin) tuvo su fin hace aproximadamente 19,000 años. Cuando el eje terrestre comienza a inclinarse la temperatura global de la Tierra tiende a incrementarse y llega a su nivel máximo, como ya se dijo, hace aproximadamente 12,000 años. Con la retirada de los hielos y el ascenso de las temperaturas los bosques ganan espacio a mayores latitudes y altitudes.

Según estudios antropológicos, el hombre apareció en México hace aproximadamente 20,000 años, en Tepexpan Estado de México; época en que se estaba saliendo de una glaciación. Rivet (1990), argumenta que una variedad de mamut (*archidiscodon imperator*) vivía todavía en Tepexpan hace 4118 años.

Los lagos someros que se encontraban en el centro de la Cuenca de México y Valle de Toluca, eran fuente de alimento para esos animales. Pero además el ambiente cenagoso permitía la caza más fácil de los primeros pobladores. Dentro de los lagos y ríos comenzaron a evolucionar los pueblos de Mesoamérica. Agua y clima, fueron elementos indispensables para el progreso cultural.

Al terminar el Pleistoceno, el clima se tornó más cálido y no solamente la vegetación natural se propagó por mayor espacio, sino también surgió la agricultura casi al mismo tiempo en diversas regiones del mundo. En México, se comienza a cultivar el maíz, siendo este cereal producto de la cruce de dos gramíneas. Segura (1964), dice: "tres zacates están íntimamente ligados en su evolución: el maíz *tripsacum* y el teosintle (grano de los dioses). El maíz es originado por el cruce de las dos especies. Estudios practicados en las excavaciones, a 70 metros de profundidad en el subsuelo del Palacio de Bellas Artes, se encontraron fósiles de granos de maíz primitivo, cuya antigüedad se remonta muy atrás de la época Wisconsin (última gran glaciación)".

Los datos de los fósiles del maíz son un indicador para evidenciar climas propicios

para el desarrollo de gramíneas, que posteriormente fueron la base para el asiento y prosperidad de diversos grupos humanos. Los climas más cálidos que caracterizaron el comienzo del Cuaternario contribuyeron a la evolución y propagación de las plantas, los animales y la población humana, que tendió al sedentarismo.

Los acontecimientos tectónicos que ocurrieron en el Terciario fueron muy importantes porque su dinamismo condujo a crear nuevos escenarios que permitieron confinar otros tipos de climas. Sin embargo, lo que ha distinguido a otros períodos o épocas han sido los eventos atmosféricos extraordinarios, como las glaciaciones intensas y los períodos cálidos, que tuvieron repercusiones ambientales a nivel mundial. A lo largo del Terciario no ocurrieron grandes episodios climáticos (según los estudios de los científicos).

Al final del Terciario ya existen indicios de un enfriamiento que se manifiesta de manera importante en la primera etapa del Cuaternario. Así, durante el desarrollo del Pleistoceno se han identificado cuatro grandes glaciaciones, que se abordan más adelante.

El Cuaternario fue definido por Edward Forbes, en 1846, como una época glacial, es decir, el tiempo durante el cual la Tierra sufrió condiciones climáticas muy frías (hace aproximadamente dos o tres millones de años). El geólogo Emile Haug, identifica al Cuaternario, con la aparición del hombre. Mientras, con el Holoceno o Reciente, se inicia un período relativamente cálido, desde hace unos 10,000 años.

Desde el punto de vista climático, el Cuaternario representa épocas ambientales con características climáticas muy extremas, por este motivo, existe mucho más información que (con respecto a las épocas anteriores) han generado los numerosos estudios de investigadores de varios países del mundo.

#### 4.4.1 Pleistoceno

Este período data desde hace 2 millones hasta 10,000 años, y a lo largo de este tiempo sucedieron numerosas edades de hielo, donde en ocasiones hasta un tercio de la superficie terrestre quedaba bajo el hielo. Como ya se mencionó, debido a las grandes glaciaciones que acaecieron en el Pleistoceno, es llamado a este período Época Glacial, cuando las banquisas descendieron a latitudes de hasta 50° en el hemisferio norte. A principios del siglo XIX, Charles Lyell propuso el término "Pleistoceno", para definir un período de vida reciente, tomando como base los registros de los fósiles.

Vivas (1992), comenta: "únicamente es aceptado que en repetidas oportunidades durante el Pleistoceno, la Tierra experimentó severos períodos de frío que se han denominado glaciaciones, separados por intervalos más templados o cálidos llamados interglaciales".

Los hielos cubrieron extensas zonas de la superficie terrestre; tanto latitudes medias y altas, así como también los glaciares de las altas montañas incluyendo las regiones subtropicales y tropicales. En América del Norte existieron dos grandes centros de dispersión de los hielos que la cubrieron casi de manera continua desde el Atlántico al Pacífico. Uno de ellos se localiza en la Bahía de Hudson y cubría todo el Este de Canadá, Nueva Inglaterra y la mayor parte del Medio Oeste. Es el llamado glaciar Laurentiana que llegó hacia el sur, hasta la confluencia del río Ohio con el Mississippi. Otro centro de dispersión estaba en las altas tierras de las Rocosas canadienses, y hacia el oeste de Estados Unidos y Canadá.

En Europa y Asia los glaciares continentales tenían también varios centros de dispersión. Uno era el que constituía el glaciar de Escandinavia, con centro en esta península y en Escocia, y se extendió hacia la Gran Bretaña, Dinamarca, norte de Alemania, Polonia y Rusia; hasta alcanzar la latitud 48°. En el hemisferio sur, fueron cubiertas por los hielos; regiones de Australia, Nueva Zelanda y el sur de Argentina y Chile.

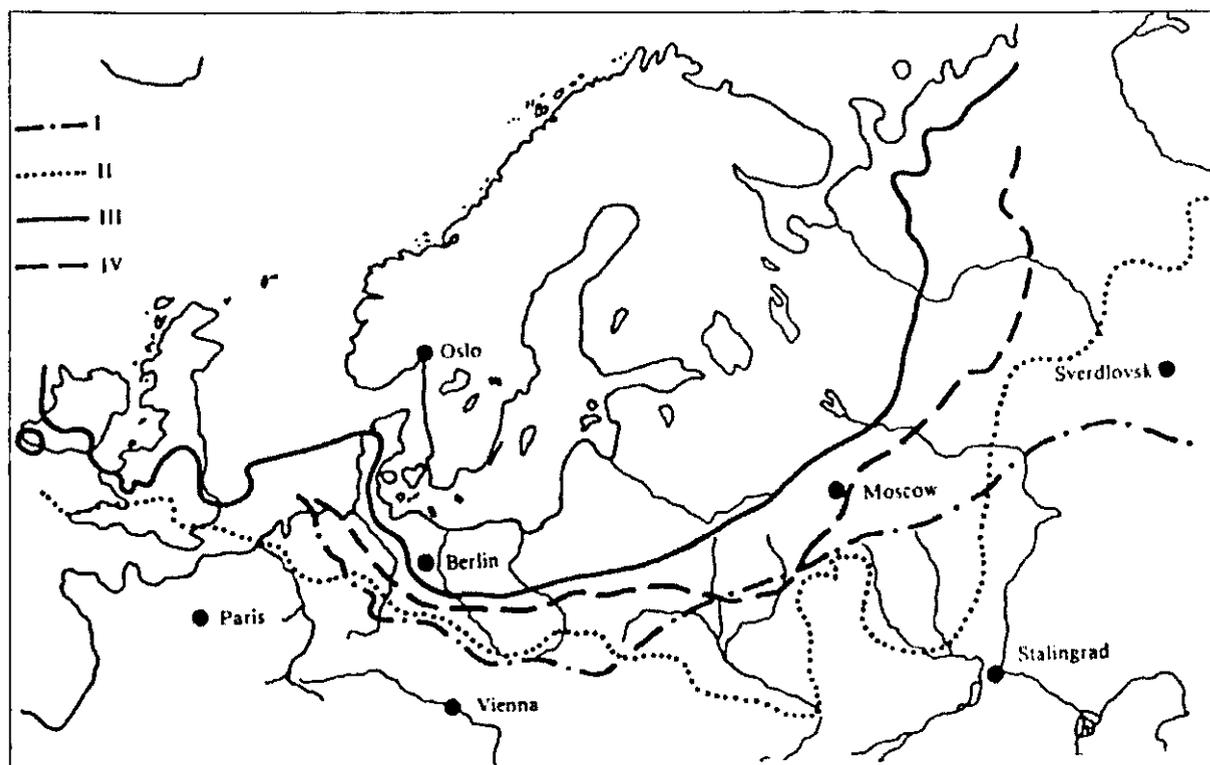


Figura 4.12. Límites de los hielos en Europa durante el Pleistoceno. Las líneas indican los límites de las cuatro mayores glaciaciones. Brown, 1983.

En Europa y Asia los glaciares continentales tenían también varios centros de dispersión. Uno era el que constituía el glaciar de Escandinavia, con centro en esta península y en Escocia, y se extendió hacia la Gran Bretaña, Dinamarca, norte de Alemania, Polonia y Rusia; hasta alcanzar la latitud 48°. En el hemisferio sur, fueron cubiertas por los hielos; regiones de Australia, Nueva Zelanda y el sur de Argentina y Chile.

Los alemanes Albrecht Penk, en 1885, y Eduard Bruckner, en 1909, basados fundamentalmente en criterios morfoestratigráficos, reconocieron en los Alpes la sucesión de cuatro glaciaciones del Pleistoceno, separadas por tres periodos interglaciales. Los autores denominaron a las glaciaciones de acuerdo con los nombres de los ríos bávaros y, admiten que el Pleistoceno se inició con la glaciación Günz, y le siguen en orden: Mindel, Riss y termina con Würm. Así, los periodos más cálidos fueron: Günz-Mindel, Mindel-Riss y Riss-Würm.

#### PRINCIPALES EVENTOS CLIMÁTICOS DEL PLEISTOCENO

PERÍODOS CLIMÁTICOS	CANTIDAD DE AÑOS
1. Glaciación Würn	130,000 – 15,000
a) Interglacial Riss-Würm	180,000 - 130,000
2. Glaciación Riss	250,000 – 180,000
b) Interglacial Mindel-Riss	370,000 – 250,000
3. Glaciación Mindel	550,000 – 370,000
c) Interglacial Gunz-Mindel	1.3 millones – 1.0 millones
4. Glaciación Gunz	1.9 millones – 1.4 millones

Cuadro 4.2

Fuente: Vivas, 1992.

Otra clasificación se elaboró en Estados Unidos de América; Charnberlain, en 1895, Leverett en 1899 y Shimek en 1909, conjuntaron un modelo basado en unidades estratigráficas, formadas por los depósitos glaciales y, designaron a las glaciaciones con los nombres de los Estados americanos donde las secuencias sedimentarias, según ellos, estaban mejor representadas, y las interglaciales de acuerdo a las localidades donde los suelos representativos se observan más claramente.

Las cuatro glaciaciones son: Nebraska, Kansas, Illinois y Wisconsin. Estas épocas glaciales estuvieron separadas por los interglaciales: Aftonian, Yarmouth y Sangamon.

#### PRINCIPALES EVENTOS CLIMÁTICOS DEL PLEISTOCENO

PERÍODO CLIMÁTICO	CANTIDAD DE AÑOS
1. Glaciación Wisconsin	150,000 – 19,000
a) Interglacial Sagamon	190,000 – 150,000
2. Glaciación Illinois	250,000 – 190,000
b) Interglacial Yarmouth	400,000 – 250,000
3. Glaciación Kansas	600,000 – 400,000
c) Interglacial Aftonian	1.5 – 1.2 Millones
4. Glaciación Nebraska	1.9 – 1.5 Millones

Cuadro 4.3

Fuente: Pointing, 1992.

Bloom (1978) citado por Vivas (1992), señala: "las temperaturas predominantes durante las glaciaciones fueron en promedio anual de 8° a 10°C, menores que en la actualidad en las latitudes medias y del interior de los continentes y solamente algunos grados en la superficie de las aguas de los océanos tropicales".

Longwell y Flint (1979), opinan: "el cambio de un clima no glacial a uno glacial (Pleistoceno), requiere una reducción del promedio de temperatura, en latitudes medias, de alrededor de 6°C. Por lo tanto, las temperaturas del mundo a través del curso de las edades glaciales e interglaciales han fluctuado en ese rango".

Hecht (1976) citado por Vivas (1992), concluye: "las temperaturas durante las glaciaciones eran para las aguas superficiales del Caribe 5°C inferiores que en los interglaciales; 4.6°C para el Atlántico ecuatorial y 5.7°C para las aguas del África occidental".



Figura 4.13 Montañas Nevadas. Los hielos cubrieron también las montañas más altas del mundo, sobre todo aquellas con altitudes mayores a los tres mil metros. National Geographic, 1990.

De acuerdo con las evidencias obtenidas por los científicos del CLIMAP (Climate, Long Range Investigation, Mapping and Prediction), a escala mundial la anomalía promedio de la temperatura entre las aguas superficiales actuales y las glaciales del Pleistoceno fue del orden de 2° a 3°C.

Existen varios científicos que mediante ciertos métodos de investigación, llegan a concluir que durante las glaciaciones, las temperaturas fueron varios grados centígrados por debajo de los valores medios actuales. Empero, la mayoría estima que los rangos de fluctuación no debieron ser superiores a 10°C. En los períodos interglaciales, las temperaturas en cambio, permanecen más o menos igual que hoy en día, o se tienen evidencias que han ascendido entre 0.5° y 2.0°C.



Figura 4.14 Presente. Desde el Plioceno (última época del Terciario), la configuración de los continentes era ya prácticamente como la actual. Empero, continúan los movimientos relativos de las grandes placas tectónicas, lo que sigue conduciendo a las variaciones climáticas. Moody Richard, Prehistoric World, 1985.

Vivas (1992), comenta: "en lo que respecta a la precipitación, es más difícil estimarla para los períodos glaciales que la misma temperatura, puesto que sus cálculos normalmente se efectúan con base en la relación evaporación / precipitación, por lo que dependen parcialmente de las estaciones que se dispongan del elemento temperatura, del estudio de fósiles y de la estratigrafía lacustre".

Aunque aún es objeto de discusión, la mayoría acepta que durante los glaciales, la precipitación mundial debió haber sido más baja que ahora. El argumento se basa en asumir que las temperaturas inferiores debieron producir menor evaporación en los mares y océanos. Los descensos térmicos motivaron que quedaran al descubierto varios puentes de tierra firme que permitieron la emigración de animales y del hombre, por ejemplo, de Asia a América del Norte, a través del Estrecho de Bering.

Ulteriormente a la última glaciación (Würm o Wisconsin), sobreviene un aumento de temperatura que provocó la desaparición de los glaciares continentales y el retroceso de los glaciares montañosos. Este suceso constituye el límite entre el Pleistoceno Tardío y el comienzo del Holoceno.

Los movimientos horizontales y verticales de los continentes continuaron con su curso, modificando o cambiando el paisaje físico: Montañas como los Andes siguen elevándose, pero algunos relieves se vuelven llanos como es el caso de la cuenca del Amazonas que ha sufrido fuerte erosión hídrica en los últimos millones de años, conformando en la actualidad una gran zona de inundación.

Seyfert (1979), asevera: "durante el Pleistoceno cada edad de hielo fue seguida de una más breve edad interglacial muy similar a la que estamos viviendo en la actualidad. En el último millón de años, aparte de las grandes glaciaciones han existido otros nueve eventos glaciales, que más o menos han durado 100,000 años".

La última edad de hielo, la llamada Wisconsin comenzó hace unos 150 mil años, se intensificó hace unos 75,000 años, alcanzó su máximo hace 19 mil años y retrocedió hace 10,000 años. Durante esta edad de hielo el 5% del agua del planeta quedó atrapada en el hielo de los glaciares, de esta manera, se deduce que el nivel del mar descendió apreciablemente.

Las edades de hielo como ya se vio, se deben a la interacción de varios fenómenos que pueden actuar de forma separada o simultáneamente. Dependiendo del número de variables causales dependerán también los grados de intensidad del descenso o elevación de la temperatura en el medio ambiente.

Hoy en día las teorías que pueden justificar mejor las edades de hielo del Pleistoceno son las de la Excentricidad de la Órbita de la Tierra y la Variación del Eje de Inclinación Terrestre, propuestas como ya se dijo, por James Croll y Milutin Milankovic, respectivamente.

La excentricidad de la órbita terrestre (ver capítulo III), se basa en lo siguiente: la órbita de la Tierra varía entre un círculo y una elipse. El tiempo que transcurre entre esas dos posiciones es de aproximadamente de 100,000 años. Cuando la órbita adquiere la forma de un círculo, la Tierra tiene una distancia casi constante de 148.8 millones de kilómetros a lo largo del año, y entonces ocurre el clima cálido; pero cuando la órbita alcanza su máxima elongación (152.5 millones de kilómetros) se dan las condiciones para una glaciación. Croll infería que los inviernos muy fríos acumulan gran cantidad de hielo provocando un albedo elevado, y por lo tanto, los hielos se mantenían sólidos por más tiempo.

Los trabajos realizados por Croll fueron muy aceptados en su tiempo, pero después se criticaron de manera desfavorable al encontrarse que sus períodos calculados no coincidían con los nuevos hallazgos que indicaban otros ciclos. No obstante, la teoría

se tomó muy en cuenta después para formar otra, que en cierta manera complementa los argumentos de Croll.

La teoría de la Inclinación del Eje Terrestre, dada a conocer por Milutin Milankovic, sirvió para introducir otras explicaciones a la de Croll. Milankovic tomó en cuenta la inclinación del eje de la Tierra, la cual varía de 21.8° a 24.6°, a lo largo de un período de 41,000 años. Esta peculiaridad tiene sus efectos en las basculaciones de los climas.

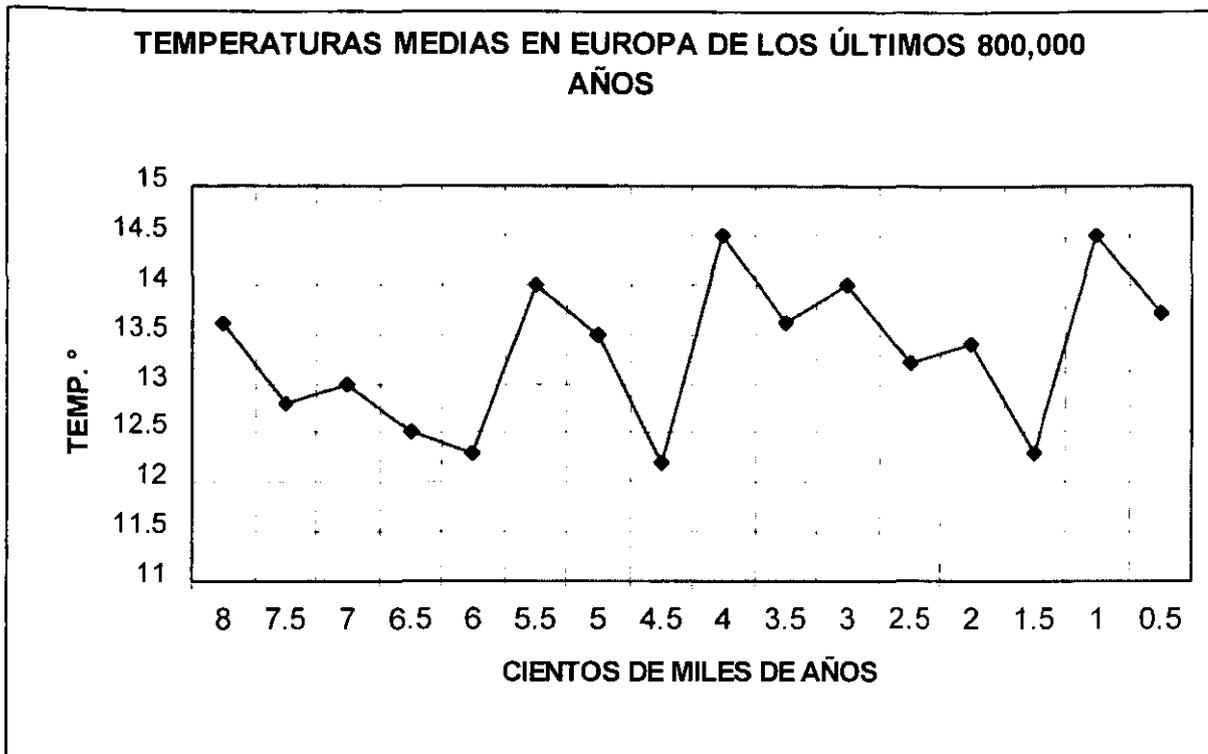
Milankovic incorporó a su teoría una idea de Köppen, quien sostenía que lo que realmente conduce a una glaciación es una reducción de la insolación en verano y no una sucesión de inviernos muy fríos. Con los veranos más fríos las capas de nieve se extienden por áreas más grandes, lo que conduce al crecimiento de los glaciares y por consiguiente, la energía solar presenta mayor reflexión, y con esto baja la temperatura por mucho más tiempo.

Las teorías de Croll y Milankovic han sido criticadas fuertemente por varios investigadores, como ya se consideró en unos de los capítulos, pero sin duda han aportado nuevas opciones para explicar algunos episodios del clima. Si bien no satisfacen del todo, pero hay que tomar en cuenta, que para comprender mejor las causas de los cambios y variaciones del clima, hay que tomar en cuenta otros factores que coadyuvan a descifrar las conexiones del clima.

A pesar de lo que se argumente en contra de las teorías de Croll y Milankovic, los mismos investigadores han reconocido que los eventos gélidos del Pleistoceno se originaron por la combinación de la máxima elongación de la órbita de la Tierra, así como de la mínima inclinación del eje terrestre. Este doble efecto ocasiona veranos fríos que no logran fundir el hielo a lo largo del año, y por consiguiente, las bajas temperaturas y la nieve se traducen en épocas de mayor cantidad de nieve alrededor de los polos en las altas montañas.

Las dos teorías anteriores debieron haber intervenido en la formación de las glaciaciones de las diversas eras geológicas de la Tierra. Las manifestaciones muy álgidas tuvieron que combinarse con otros procesos como: baja actividad solar, algunas erupciones volcánicas, campo magnético intenso, etc. Todos esos procesos tuvieron que haberse repetido en varias ocasiones para ocasionar los fuertes efectos. Sin embargo, no se dispone con pruebas fehacientes que permitan asegurar su participación en periodos específicos.

A medida que los periodos de la Tierra son más antiguos son menos evidentes los indicios que prueben las condiciones climáticas que prevalecieron en cada lapso geológico. Los fósiles encontrados en los últimos millones de años representan una fuente informativa más confiable para identificar los episodios climáticos y asimismo se puedan conocer mejor los fenómenos que pudieron haberlos causado.



Gráfica 4.1

Fuente: Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, citado por Gribbin, 1985.

En la gráfica 4.1 se observa la tendencia de la temperatura en Europa en los últimos 800,000 años. El comportamiento térmico advierte épocas glaciales e interglaciales. Durante el Pleistoceno se presentaron períodos muy fríos que terminaron en eventos glaciales muy intensos y prolongados. La gráfica muestra por consiguiente, los principales acontecimientos climáticos en los últimos 800,000 años. La gráfica muestra el período frío que imperó antes de la era cristiana, así como un ligero ascenso posterior. Los datos que aporta la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos son muy generales, pero pueden apreciarse las fluctuaciones térmicas que diversos investigadores han encontrado en sus investigaciones.

Durante el Pleistoceno han podido estudiarse mejor los eventos climáticos, pues el número de épocas glaciales e interglaciales identificadas han concordado en Norteamérica y Europa. Las coincidencias se refieren básicamente al avance de los glaciares hacia latitudes inferiores de esas áreas continentales.

La glaciación Wisconsin es la mejor estudiada de todas las edades de hielo. La razón es que cada edad de hielo precedente borró en gran parte la edad anterior, cuando los glaciares se deslizaban hacia menores latitudes.

Se dice que durante el Cuaternario, se presentó un tectonismo y vulcanismo muy

intenso, el cual comenzó desde el Terciario. Por ejemplo, la meseta del Colorado fue levantada, las montañas de los Apalaches también se elevaron, lo que produjo variaciones climáticas. El vulcanismo tuvo participación muy activa en varias regiones del mundo, como en el suroeste de Estados Unidos (falla de San Andrés), fracturas en Nueva Zelanda, erupciones en los volcanes de Kenia y en Olduvai. La actividad volcánica significó nuevamente los cambios climáticos.

Como se ha visto, otra teoría que justifica un descenso de las temperaturas es la variación en la actividad solar. Algunos años el Sol es más activo que en otros. Cuando la actividad solar se incrementa aparecen manchas oscuras en la superficie del Sol, y entonces lanza grandes cantidades de energía solar al espacio interestelar, la atmósfera de la Tierra intercepta parte de esa energía y las temperaturas se elevan. Pero cuando la actividad solar es débil, se desvanecen las manchas, la energía hacia el exterior mengua y esto repercute también en los climas de la Tierra.

A finales del siglo XIX el astrónomo inglés Walter Maunder, estudió la actividad solar, y descubrió que de 1645 a 1715 no aparecieron de manera considerable las manchas solares en la superficie solar.

Este período fue relativamente frío y se le ha denominado Pequeña Edad Glacial. Ratcliff (1972), menciona que épocas como esas han ocurrido siempre a lo largo del tiempo geológico, lo que puede contribuir a los descensos térmicos en eventos glaciales.

El impacto de meteoritos en la superficie terrestre provoca la formación de nubes de polvo que se levantan hacia lo alto de la troposfera y la estratosfera. Las partículas cuando quedan suspendidas por meses o años, dificultan la entrada de la radiación del Sol hacia las capas inferiores de la atmósfera, lo que conlleva a la disminución de las temperaturas.

Hace unos 50,000 años (durante el Pleistoceno) cayó un meteorito en Arizona, Estados Unidos, al que se le ha llamado Great Meteor Crater. Este asteroide formó un cráter de 1,500 metros de diámetro y una profundidad de 200 metros. Se considera que ese material no fue de grandes dimensiones, pero interfirió en el clima regional.

Los cráteres hallados en otros lugares del mundo pudieron haber medido varios kilómetros de diámetro. La presencia de esos fenómenos cósmicos provocan incendios y posteriormente nubes de polvo. Este último efecto tiene mayor duración y puede dar inicio al enfriamiento del planeta.

Como se ha considerado, las variaciones del campo magnético de la Tierra, es otra teoría cuyos argumentos permiten comprender las variaciones y cambios climáticos. El magnetismo de la Tierra se debe a que ésta se comporta como un dinamo: su núcleo se ha transformado en un imán por la presencia de corrientes eléctricas que lo circundan en su alrededor.

Pierre (1990), menciona: "en determinado número de miles y millones de años los polos magnéticos se invierten. La polaridad hacia un polo puede durar hasta unos 80 millones de años, pero durante ese lapso pueden presentarse variaciones adicionales. Cuando el campo magnético tiende hacia la inversión, comienza a debilitarse llegando hasta un mínimo. Cuando se llega al nivel más bajo, la magnetosfera (capa que protege a la Tierra de radiaciones nocivas para la vida), también se reduce, y es entonces cuando la radiación solar penetra con mayor facilidad hacia la superficie terrestre. En cambio, cuando el campo magnético se fortalece, la radiación solar no llega con facilidad, y ello conduce a un enfriamiento global".

Erickson (1991), declara: "la oscilación del campo magnético de la Tierra llamada Gothenburg, que ocurrió hace 13,500 años, produjo el descenso de las temperaturas en picado, y el avance de los glaciares durante 1,000 años, aparentemente como respuesta de un campo magnético debilitado".

Desde 1840 se han realizado estudios del campo magnético de la Tierra y se ha inferido que la tendencia es hacia el mínimo. Así, se espera en los próximos siglos se presente un aumento de temperatura a nivel mundial. Se considera que los ascensos térmicos no serán muy pronunciados pero permitirán esclarecer mejor los vínculos que existen entre los diversos factores que conforman los climas.

#### 4.4.2 Holoceno

El Holoceno es considerado el último de los períodos geológicos y, que se inicia después de la última glaciación. Se sabe que los períodos glaciales del Pleistoceno, se vieron interrumpidos por épocas cálidas, como la ocurrida hace unos doce mil años. Durante los mismos, las masas de hielo de los continentes del norte se fundieron y el mar creció por encima de su nivel actual; las temperaturas medias anuales eran entonces, unos 2.0°C más altas que en la actualidad. A partir de ese momento, se desarrolló rápidamente el progreso de la humanidad.

Erickson (1991), relata: "durante el último período glacial, que transcurrió entre los años 35,000 y 10,000 antes de nuestra era, se vio el desarrollo del hombre que comenzaba ya a parecerse al actual. Fue un tiempo que presenció una explosión de progreso y creatividad humana y sirvió de cuna para la cultura".

El Holoceno se ha caracterizado por su clima cálido, con relación a los ambientes pleistocénicos, pero también han ocurrido descensos de temperatura a lo largo de su historia en períodos de duración muy variable.

Con el clima más cálido en la Tierra, las actividades humanas se comenzaron a desarrollar con mayor intensidad, y de esta manera, los progresos de la técnica y la ciencia facilitaron las labores de las sociedades. Una de las actividades que más avances tuvo fue la agricultura, pues el clima más cálido favoreció la propagación de las diversas semillas en diferentes regiones. En Europa, el trigo se convierte en el

cereal más importante; en América, el maíz se distribuye por el continente; en Asia, el arroz pasa también a formar parte de la alimentación de la población; y en África, el trigo y el mijo comienzan a representar la base de la alimentación de sus pobladores. El incremento masivo de las labores agrícolas casi por el mismo tiempo en los grandes continentes, puede deberse en gran parte, como consecuencia del ascenso de las temperaturas a escala mundial.

Gribbin (1986), cita: "el climatólogo Humbert Lamb, ha identificado desde el final de la Edad de Hielo hasta la actualidad, cuatro períodos bien marcados, con sus propias características climáticas; ellos son: una época cálida que dio fin al último período glacial, ya que alcanzó su clímax, hace 5,000 a 7,000 años. A este período se le ha denominado Óptimo Climático. Después le siguió una época más fría que corresponde aproximadamente a la Edad de Hierro (2,500 a.J.C. a 100 d.J.C.) y que tuvo su peor período hace de 300 a 900 años a. J.C. Tras un tiempo frío, siguió un hito climático cálido, menos notable que el óptimo climático, que alcanzó su cumbre a principios de la Edad Media, hace unos 800 a 1,000 años. Por último, procedió una época fría, llamada Pequeña Edad Glacial, que abarcó del siglo XV al XIX, pero presentó su máximo rigor en el XVII, pero algunos especialistas creen no ha terminado todavía".

Después de la Edad Glacial, se inició otra etapa con climas relativamente más cálidos. Este período parece que coincide con el surgimiento de la Revolución Industrial, y se ha prolongado hasta la actualidad.

A continuación se exponen los principales períodos que han acontecido después de la última gran glaciación del Pleistoceno.

#### 4.4.2.1 Óptimo climático

Se sabe que el aumento de temperatura que continuó después de la última glaciación, provocó el deshielo de millones de kilómetros cuadrados de superficies que quedaron al descubierto y en capacidad para ser colonizadas por los seres vivos. Los nuevos patrones de relieve, hidrografía y de paisaje, dieron lugar a la propagación de vegetales, animales y humanos en esas regiones.

Flohn (1970), explica: "cuando ocurrió el máximo del Óptimo Climático, hace unos 4,500-6,000 años, las temperaturas medias de Europa eran 2.0° a 2.5°C más altas que en la actualidad; el Sahara y el Oriente Medio tuvieron un período más húmedo, durante el cual, algunas regiones desérticas (actualmente carentes de vegetación), se poblaron de hierbas esteparias, lo que implica que recibían precipitaciones anuales del orden de 200 a 250 mm.

Labeyrie (1988), narra: "durante esta época cálida, se tienen indicios que regiones del Sahara y el Cercano Oriente, los climas fueron más húmedos que hoy. En la meseta del Tassili se han encontrado vestigios de asentamientos humanos: murallas, avenidas y restos de cerámicas en los alrededores. Sobre la pared de las areniscas

amarillas aparecen cientos de grabados y pinturas antiguas que representan siluetas de animales y hombres. Entre los animales se observan vacas bien nutridas, esto puede indicar que esta región, el alimento era entonces abundante y el clima húmedo. Ahora la meseta del Tassili es desértica y sería casi imposible que las vacas de ese tipo pudieran alimentarse allí. Las pinturas datan de hace aproximadamente 6,500 años".

Pinturas como las anteriores, se han encontrado en otros lugares del Sahara: en las gargantas del Ahaggar (sur de Argelia) y en los peñascos del Adrar-Bous (noreste de Mali). También a lugares cercanos a estas áreas, se han encontrado restos de cerámica, así como puntas de flechas, destinadas probablemente a la caza de aves y animales pequeños. Se cree que en aquellos tiempos cálidos, la civilización estaba formada por tribus sedentarias, que se dedicaban a la caza, al pastoreo y a la pesca. Pues había pescadores, puesto que se han hallado figuras de pescados e hipopótamos al borde de las depresiones arenosas que en otras épocas fueron lagos. Se dice que el único lago que subsiste en la actualidad es el Chad.

Parece probable que las condiciones húmedas que afectaron al Sahara, hace unos 7,000 años, también se presentaron en otras regiones desérticas del mundo de cinturones subtropicales: el Sudán, Yibuti, Arabia, Irán, Afganistán, Pakistán y el suroeste de Estados Unidos en el hemisferio norte; mientras en el hemisferio sur, está el Kalahari, el desierto de Australia y el desierto de Atacama en el norte de Chile.

Alrededor de la franja de los 20° de latitud norte, en la región sur del Sahara existieron varios lagos hace aproximadamente 7,000 años. También se considera que por esas mismas fechas los lagos de México eran mucho más extensos y rodeados de una gran vegetación, pero éstos y aquellos se fueron secando poco a poco. Los de África pudieron secarse más rápido debido a su mayor continentalidad y a sus menores fenómenos meteorológicos a que han estado expuestos. Si los lagos se abastecían de las lluvias, éstas también albergaban mucha más vegetación y animales y, los grupos humanos pudieron permanecer ahí por mucho más tiempo.

El polen fosilizado que se ha encontrado en la zona del Sahel y casi en pleno desierto del Sahara, ha permitido inferir que el clima hace unos 8,000 a 4,000 años era mucho más húmedo que en la actualidad.

Las teorías astronómicas de la inclinación del eje terrestre y la excentricidad de la órbita de la Tierra (explicadas anteriormente), se han tomado muy en cuenta para explicar los períodos climáticos que han acontecido en los últimos 10,000 años.

Se considera que el eje terrestre tuvo su máxima inclinación hace unos 6,000 años, tiempo en que los rayos solares llegaban menos inclinados en el hemisferio norte. Después de aquellos tiempos la inclinación está decreciendo (según Pointing, 1992); razón, por la que los próximos 15,000 años se llegará a otro enfriamiento terrestre de acuerdo a la tendencia actual del eje.

La excentricidad de la órbita de la Tierra puede contribuir en las etapas glaciales o interglaciales. Como ya se dijo, la órbita varía entre un círculo y una elipse. El tiempo que transcurre entre esas dos posiciones es de alrededor de 100,000 años. Dicha excentricidad fluctúa entre 0 y 6%. En la actualidad ese valor es de 1.6%. Así, el día que se encuentra más cerca la Tierra del Sol es el tres de enero, llamado a ese momento el perihelio, mientras que el cuatro de julio corresponde al día de mayor alejamiento de la Tierra con relación al Sol, llamándose a ese lapso el afelio.

Según Pointing (1992), en el momento presente la órbita terrestre se está haciendo más circular y, así se está reduciendo las diferencias térmicas entre el verano y el invierno. James Croll en 1865 pudo comprobar matemáticamente que cuando la órbita es un círculo, la Tierra mantiene constante una distancia de 148.8 millones de kilómetros a lo largo del año.

Según Croll en 1865 dijo que el mínimo acercamiento de la Tierra al Sol es de 144.2 millones de kilómetros y el máximo es de 153.5 millones de kilómetros. De acuerdo a lo anterior, si se considera que entre un máximo y un mínimo transcurren 50,000 años (6%), en la actualidad se ha avanzado en un 1.6%, que equivale a 2.4 millones de kilómetros, es decir, se está a 146.4 millones (perihelio), lo que indica que se llegó a un mínimo hace aproximadamente hace unos 13,000 años, y en los próximos 12,000 años se llegará a la forma del círculo.

De lo anterior se infiere que cuando la órbita de la Tierra llegue al círculo, se presentará un periodo interglacial, lo cual significa que cuando el eje pierda inclinación propiciando un enfriamiento, con la forma de circular se pueden equilibrar los efectos ocasionando una moderación en el clima en los próximos 15,000 años. Sin embargo, se asevera que los mayores efectos de enfriamiento o calentamiento los provoca la inclinación del eje de rotación terrestre; pues en la actualidad lo que motiva las estaciones extremas (verano e invierno), es precisamente la inclinación de dicho eje, aunado el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

No obstante, el periodo óptimo climático acontecido hace más o menos 7,000 años pudo deberse a la conjugación de los dos eventos astronómicos, pero con el predominio importante de la mayor inclinación del eje terrestre que implicó la distribución de mayores temperaturas hacia las latitudes superiores.

Las variaciones y cambios climáticos a largo plazo pueden ser explicados parcialmente tomando en cuenta las teorías anteriores, pero existen fenómenos que pueden participar con periodos mucho más cortos, como la actividad solar. Se sabe que el Sol presenta sus mínimos y sus máximos, es decir, en ocasiones está más activo que en otras. Cuando aparece mayor cantidad de manchas solares se dice el Sol está más caliente, y por consiguiente, irradia más energía hacia el espacio cósmico; de esta forma, en algunos periodos (el más común de 11 años), se eleva la temperatura de la atmósfera de la Tierra.

Los periodos de mayor actividad solar pueden coincidir con un evento interglacial,

pero como la acción es relativamente corta, sus efectos, parece ser que no pueden definir un acontecimiento cálido por mucho tiempo (miles de años), como el que se desarrolló hace unos 7,000 años. Aunque existen épocas prolongadas de elevada actividad solar, que pueden durar decenas o centenas de años.

#### 4.4.2.2 Período subboreal

Posteriormente al Optimo Climático, las temperaturas volvieron a decaer, lo suficiente para que los hielos avanzaran varios kilómetros hacia latitudes del sur de Europa y Norteamérica. A este nuevo acontecimiento climático se le ha denominado Período Subboreal o Neoglaciación, y ocurrió entre 1,500 a.J.C. a 900 d.J.C.

El nuevo período más frío comprendió parte de la Edad de Hierro, y se dice que las temperaturas más bajas ocurrieron del año 300 al 900 a.J.C. En esa época los bosques desaparecieron de regiones del norte y sus límites quedaron en lo que hoy es Kansas (Estados Unidos) y hasta Dinamarca en Europa. Sin embargo, otros autores hacen énfasis, que por ese tiempo, se presentaron severas sequías en algunas partes del planeta.

Bryson y Murray (1985), argumentan: "el científico Rhys Carpenter, especialista en estudios clásicos, sostiene que la decadencia de la gran civilización micénica, que floreció en el Egeo, durante cientos de años en el segundo milenio antes de Cristo, no se debió a la invasión o a las guerras, sino a una prolongada sequía: un cambio en las características de la atmósfera, que se produjo hacia el año 1,200 a.J.C., lo que condujo a la declinación de ese pueblo".

Si Carpenter tiene razón, el frío y la gran sequía por esos tiempos pudieron ser los factores que de manera indirecta o directa motivaron la declinación de la cultura micénica, cuyo esplendor corresponde del año 1600 a 1100 a. J.C.

Otra gran obra de la literatura universal es la Iliada. Este poema homérico data aproximadamente del año 950 a.J.C., y está dividido en 24 rapsodias. En el canto XII (Combate en la Muralla), se resalta magistralmente el honor y las virtudes que poseen los héroes durante la batalla. Así, cuando los aqueos (luchan contra los troyanos), comienzan a desanimarse, surgen las palabras de los dos Ayantes, y mediante una parábola que tiene que ver tal vez con las condiciones climáticas que se presentaron ahí o en lugares cercanos al Mediterráneo en aquella época, exclaman:

"Que nadie vuelva atrás, id adelante y animaos por si Zeus olímpico nos permite seguir a los enemigos. Cuan espesos caen los copos de nieve cuando en el invierno Zeus decide nevar, mostrando sus armas a los hombres; y adormeciendo a los vientos, nieva incesantemente hasta que cubre las cimas y los riscos de los montes más altos, las praderas cubiertas de loto y los fértiles campos cultivados por el hombre; y la nieve se extiende por los puertos y las playas del espumoso mar, y únicamente la detienen las olas, pues todo lo restante queda cubierto cuando arrecia

la nevada de Zeus: así, tan espesas, volaban las piedras por ambos lados, las unas hacia los troyanos y las otras de éstos a los aqueos, el estrépito se elevaba sobre todo el muro".

Aunque el relato climático de Homero no es estrictamente un hecho relacionado con la realidad en el momento de escribirlo, la parábola ilustra claramente, y casi con detalle un acontecimiento atmosférico que necesariamente tuvo que haber experimentado el poeta en una de las regiones conocidas por él en aquellos tiempos.

Son muchísimas las obras literarias escritas en la Antigüedad que describen constantemente los ámbitos climáticos en que se desarrollan; sin embargo, se destacan algunos tópicos por ser muy elocuentes con el tema tratado en este capítulo. Por esta razón, se escogen también algunos fragmentos de los poemas de Quinto Horacio. Este personaje es originario de la ciudad de Venusa, Italia. Sus escritos provienen del año 65 a.J.C., y los poemas escogidos son:

a) La vida es breve

El rudo invierno se funde  
con el regreso de la primavera.  
Ya no goza el ganado en su establo  
ni el labrador junto al fuego,  
ni la escarcha plateada blanquea el campo.  
Ya todo se alegra y Venus,  
con su cortejo, baila en los bosques  
bajo la luna...

b) No desprecies el día

Contempla la montaña  
alta y blanca de espesa nieve:  
los bosques no soportan  
la escarcha que los agobia  
y el hielo detiene los ríos.  
Ahuyenta el frío.  
Pon leña en el hogar y saca vino añejo  
de un ánfora de dos asas.  
Deja el resto a los dioses...

c) Goza el instante

No preguntes para cuándo  
fijaron los dioses tu muerte o la mía  
ni hagas caso de los misterios del Oriente.  
Mejor es aceptar lo que viniere,

ya sean muchos los inviernos  
que otorgue Júpiter,  
ya sea el último éste,  
que ahora fatiga el mar contra las rocas.  
Goza el instante: no te fies del mañana.  
Mientras hablamos, huye el tiempo...

Como se aprecia, los poemas de Horacio están basados en experiencias del tiempo atmosférico que él mismo pudo haber vivido en aquella época con predominio de temperaturas álgidas; la que duró varios siglos. Con base en los sucesos anteriores, se infiere que la literatura puede ser una fuente de información muy útil para aproximarse en el estudio del clima a través del tiempo y el espacio.

Pero Gribbin (1986), menciona que mientras en algunas zonas del Mediterráneo pudieron alternarse períodos fríos con secos; en Rusia las lluvias fueron intensas, lo que condujo a que los bosques se extendieran en algunas regiones. No obstante, después del siglo VIII d. J.C., el clima se fue tornando más cálido, terminando una época relativamente fría.

En ese período, como ya se mencionó a través de las obras de Homero, Horacio y otros escritores, predominaron los acontecimientos atmosféricos de bajas temperaturas, y en algunas regiones de la Tierra se presentaron deficiencias de lluvias. Dentro de los tiempos con características frías existieron también épocas cálidas y lluviosas, pero los estudios revelan que en el período subboreal acontecieron momentos muy álgidos.

Hay que recordar que los grandes eventos climáticos que se han descrito, muchos investigadores los han identificado como cálidos y fríos, pero no se especifica con detalles las diferencias cualitativas y cuantitativas de cada uno de ellos. Ante esta situación, un promedio de temperaturas de 15°C, en el norte de Europa puede significar un período cálido, mientras en otras latitudes puede ser frío. Pero también, un período con uno o dos grados centígrados por encima o por abajo de 15°C, puede ser interpretado como cálido o frío.

La teoría que mejores bases puede brindar durante el enfriamiento de la Tierra (después del óptimo climático) es la inclinación del eje de rotación de la Tierra. Al comenzar a enderezarse el eje, las altas latitudes se alejan más de la perpendicularidad en la incidencia de los rayos solares, lo que ha ido provocando un descenso paulatino de las temperaturas en todo el globo.

Hace aproximadamente 8,400 años la inclinación del eje de rotación estaba en su máximo ángulo de 24.6°, lo que correspondió a los años cálidos. A partir de ese momento su tendencia es hacia la vertical, y en la actualidad se han recorrido a 1.15° (8,400 años) de los 2.8° como máximo, por tanto, el 1.65° que faltan por recorrerse se completarán en los próximos 12,100 años (tiempo en que se puede entrar nuevamente a una glaciación por este efecto).

El enfriamiento relativo que se ha observado después del óptimo climático, puede obedecer a la dinámica del eje de rotación antes descrita, como factor que marca la directriz de las grandes variaciones y cambios del clima. Además en la actualidad algunos investigadores argumentan -como Hubert Lamb (1982) y Jon Erickson(1992)-, que el futuro del clima mundial se orienta hacia los períodos álgidos.

El descenso de las temperaturas puede ser iniciado por un debilitamiento del campo magnético de la Tierra. Se sabe que el campo magnético terrestre tiene sus fluctuaciones en el transcurso del tiempo, y éstas ocurren en etapas irregulares. Cuando mengua el campo magnético, la magnetosfera también se reduce y entonces deja pasar mayor cantidad de radiación solar hacia el interior de la atmósfera. Este proceso conduce a elevar las temperaturas del planeta. Empero, cuando el campo magnético se fortalece, la radiación solar y el polvo cósmico se desvían en mayor cantidad hacia el espacio interestelar.

Las oscilaciones del campo magnético terrestre se manifiestan de manera muy aleatoria, pues algunos eventos suelen ser muy breves, pero otros suelen prolongarse por mucho más tiempo. Según Pierre (1993), los períodos fuertes y débiles pueden durar desde algunos segundos hasta miles de años. Un campo magnético potente se pudo haber prolongado a través del tiempo subboreal y haber coincidido con la tendencia hacia la vertical del eje de inclinación.

El campo magnético fortalecido que coincida con una débil actividad solar conlleva a un enfriamiento generalizado en la Tierra, siendo más evidentes las consecuencias en las zonas de elevadas latitudes por la fragilidad en los procesos de la sublimación del agua. La nieve, la escarcha, el granizo, etc., permiten alteraciones ambientales muy drásticas.

#### 4.4.2.3 Clima medieval

Otro intervalo cálido llamado Pequeño Óptimo Climático, tuvo su manifestación entre los años 1,000 y 1,300 d.J.C., y se asegura que fue acompañado de inviernos suaves y lluviosos que hacían crecer los ríos europeos. En esa época fueron habitadas algunas regiones que ahora están cubiertas por los hielos. Por ejemplo, en el año 874 d.J.C., llegaron colonos europeos a poblar Islandia, los que se propagaron muy rápido, ya que el clima por esos años les era propicio para su desarrollo. Esta isla algunos años antes, había recibido el calificativo de "tierra de los hielos".

Posteriormente, en el año 985 d.J.C., la colonia en Islandia era bastante amplia, y sirvió de guía para viajar a Groelandia. Uno de los primeros navegantes la llamó "Groenland", que significa tierra verde; el nombre tal vez se debió a que en ese tiempo, el clima era suficientemente cálido, lo que propiciaba que cuando menos en las costas existieran ciertos tipos de vegetación.

Se dice también que en año 995 d.J.C., el navegante Leiv Erickson, en su viaje a Groenlandia, los vientos hicieron cambiar su rumbo y así pudo llegar hasta las áreas continentales de América del Norte, y se cree que pronto algunas colonias nórdicas se establecieron en el nuevo continente.

Herrmann (1964) citado por Bryson y Murray (1985), sostiene: "del año 900 a 1,130 d.J.C., los escandinavos se convirtieron en los viajeros del mundo, colonizaron Islandia, Groenlandia y llevaron a cabo viajes a Norteamérica. También comerciaron con italianos, árabes y otros pueblos del Mediterráneo. En territorio noruego, la agricultura se desplazó en dirección norte. La colonización de Groenlandia tuvo que tener un lugar en un Atlántico Norte templado, es decir, contaban con un clima benigno para realizar sus hazañas".

En ese tiempo de condiciones atmosféricas relativamente cálidas para los pueblos europeos, se cree que se pudieron cultivar algunas especies vegetales, como la uva y los cereales, más al norte en relación con los límites de ahora. Se sembraron en Inglaterra viñedos, que condujeron a la producción de vinos de excelente calidad y se podían comparar con los mejores vinos franceses e italianos de la época.

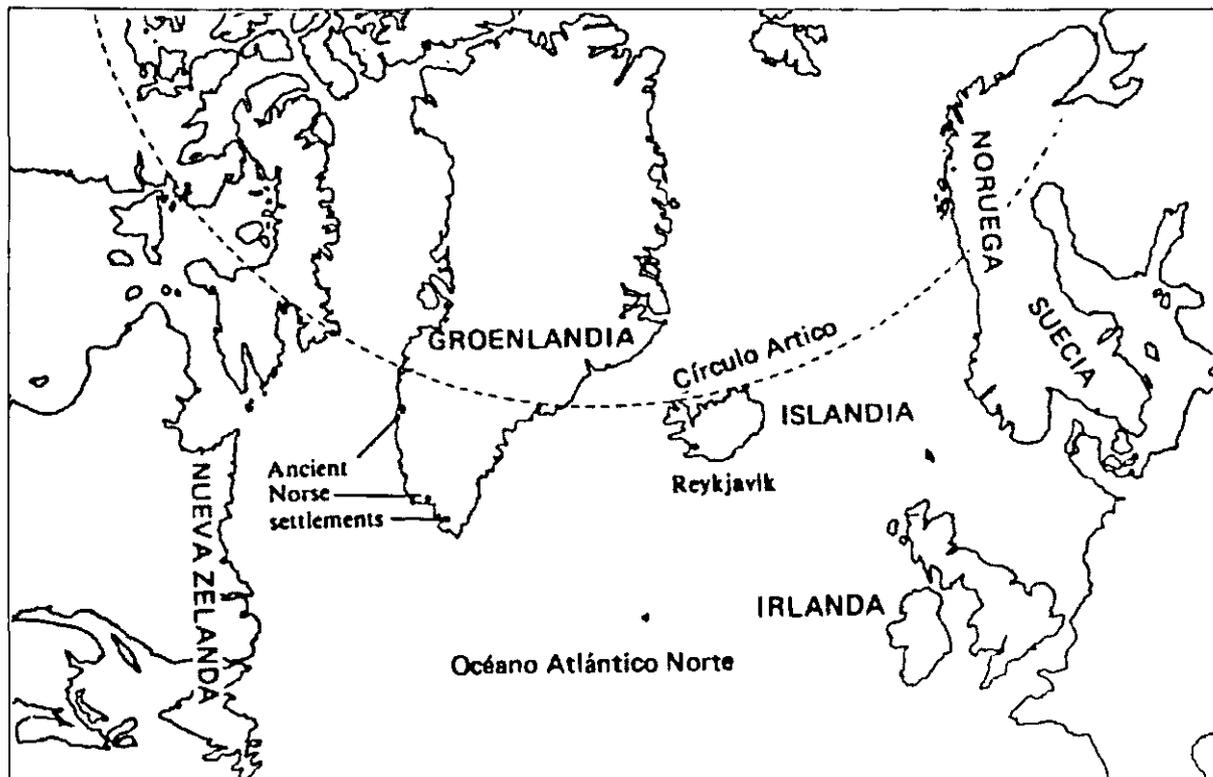


Figura 4.15 Mapa de colonización de los nórdicos. Se dice que los vikingos realizaron viajes constantes a Groenlandia y a las costas de Norteamérica como consecuencia del clima benigno en esas regiones. Bryson and Murray, 1985.

Gribbin (1986), describe: "mientras los nórdicos se beneficiaban de una retirada de los hielos marinos y de condiciones más templadas en el Atlántico Norte, las tribus nativas

americanas se trasladaron al norte y al oeste de Estados Unidos de Norteamérica, penetrando en el actual Wisconsin antes del año 800 y numerosas colonias de agricultores se extendieron hacia los valles de Minesota Oriental".

El pueblo de Mill Creek fue uno de los muchos grupos establecidos en las llanuras del este de las Montañas Rocosas, hacia el año 900, y ya en 1,200 constituía una población relativamente rica, que vivía en una región de praderas y de valles boscosos.

Cultivaban maíz y cazaban ciervos para alimentarse. Se dice que eran comunidades sedentarias bien organizadas y prósperas, ya que el medio ambiente favorecía su crecimiento cultural.

Bryson y Murray, (1985), sostiene: "en el sur de Illinois, justo al este de San Luis, se encontraba uno de los mayores centros de población del mundo en el año 1,000 d. J.C. Dentro de un área de 235 Km<sup>2</sup>, estaba una región muy fértil que ahora recibe el nombre de Cahokia. Sin embargo, todo el esplendor que alcanzaron estos pueblos de Norteamérica, sucumbió en poco tiempo, a principios del siglo XIII. Sobrevino una gran sequía que duró más o menos 200 años. Al disminuir las precipitaciones, los bosques y los cultivos ya no recibieron agua y, fueron reemplazados por escasa vegetación. De esta manera, los habitantes abandonaron la región y paulatinamente se convirtieron en nómadas".

De 1130 a 1380, se produjo una fluctuación en el sistema climático; comenzaron a prevalecer las temperaturas frías, los veranos se volvieron más crudos, razón por la que los escandinavos abandonaron sus colonias en Norteamérica, Groenlandia e Islandia. Decayeron las cosechas de los viñedos ingleses, confinándose hacia latitudes mucho más al sur de Europa. El gran desarrollo que habían alcanzado los pueblos de Norteamérica, se considera que declinó en esa época.

Jones (1992), opina: "las razones por las que cesaron las colonizaciones de los noruegos a Groenlandia y América del Norte, no están muy claras, pero probablemente se debieron a una disminución de las temperaturas, escasos contactos con Europa por razones políticas o a una incapacidad de adaptación debido a una estructura social muy jerarquizada. Concluye diciendo: las fluctuaciones climáticas desempeñaron un papel decisivo en los movimientos de población, no sólo en Escandinavia, sino también en Europa Occidental y Central".

Cuando el clima cambia de frío a cálido en las regiones de elevadas latitudes, los hielos de la superficie terrestre comienzan a fundirse, lo que propaga los terrenos cultivables a otras áreas. Con el mayor número de tierras para la agricultura y con climas más benignos se puede cultivar más ampliamente. Así, sucedió en varias regiones de Europa, pues los cultivos de viñedos y trigo tuvieron mucho éxito en el norte de Alemania, Francia e Inglaterra.

Durante el período del medievo, los "vikings" se convirtieron en los navegantes que

emprendieron mayores empresas. Como ya se dijo, llegaron a Islandia, Groenlandia y Norteamérica; situación que se facilitó con la fusión de los hielos y glaciares. También el pueblo de Mill Creek ubicado en el este de las montañas Rocosas prosperó de manera muy destacada en la agricultura y en su organización cultural. Esos ejemplos de prosperidad en algunas regiones del mundo se atribuyen en gran medida a la moderación de los climas durante la Edad Media.

Los fenómenos que condujeron al clima medieval pueden ser todos los mencionados anteriormente que conducen a los climas cálidos. Sin embargo, como se ha considerado ya, existen algunos acontecimientos que están mejor relacionados con este tiempo más cálido.

De acuerdo a la teoría de la inclinación del eje terrestre el rumbo del clima mundial a largo plazo es hacia una glaciación, pero existen algunas desviaciones atmosféricas provocadas por otros procesos que se suman continuamente a la tendencia general. La actividad solar y las variaciones del campo magnético de la Tierra, son las teorías que mejor explican esos eventos climáticos que pueden durar desde decenas y centenas de años.

En 1976 el astrónomo estadounidense John Eddy citado por Gribbin (1986), dio a conocer un documento que mostraba sus investigaciones sobre la manifestación de las manchas solares desde el año 28 a. J.C., hasta 1800 (observaciones encomendadas por los emperadores de China, Japón y Corea). Eddy realiza el estudio hasta la década de los cincuenta del siglo XX. Este investigador después de observar cuidadosamente los datos del oriente y de Europa (datos de 1600 en adelante) concluye que durante el período de 1050 a 1300 se avistaron numerosas manchas solares, lo que indica que el Sol estuvo muy activo.

De acuerdo a las investigaciones de Eddy, el aumento de manchas solares y de auroras polares motivó climas relativamente cálidos del siglo XI al XIII, período que coincidió más o menos con la Edad Media en Europa.

En la época medieval europea coincide en cierta manera con la propagación y el desarrollo de los grupos mesoamericanos. Por ejemplo, los mexicas se establecen en el valle de México en el año 1325, a su llegada encuentran un escenario de grandes recursos naturales como los lagos, ríos, vegetación abundante y grupos humanos relativamente reducidos, lo que representaba un clima templado y semifrío característico de los altos valles centrales de México. Ante el escaso deterioro ecológico el clima debió ser fresco y moderado, lo que facilitó el asentamiento y progreso acelerado de los pueblos establecidos en esa región.

Los mayas que se establecieron en la península de Yucatán llegaron al clímax de su desarrollo alrededor del siglo III a. J.C. Su decadencia y éxodo comenzó un siglo después y a la llegada de los españoles a México, ya tenían casi 500 años de haber abandonado sus ciudades y centros ceremoniales más importantes. Una de las teorías que explican su decadencia en ese espacio geográfico se atribuye a un cambio

climático desfavorable, pero hay que destacar que en Yucatán no existen corrientes fluviales importantes, por lo que el progreso cultural pudo verse perjudicado.

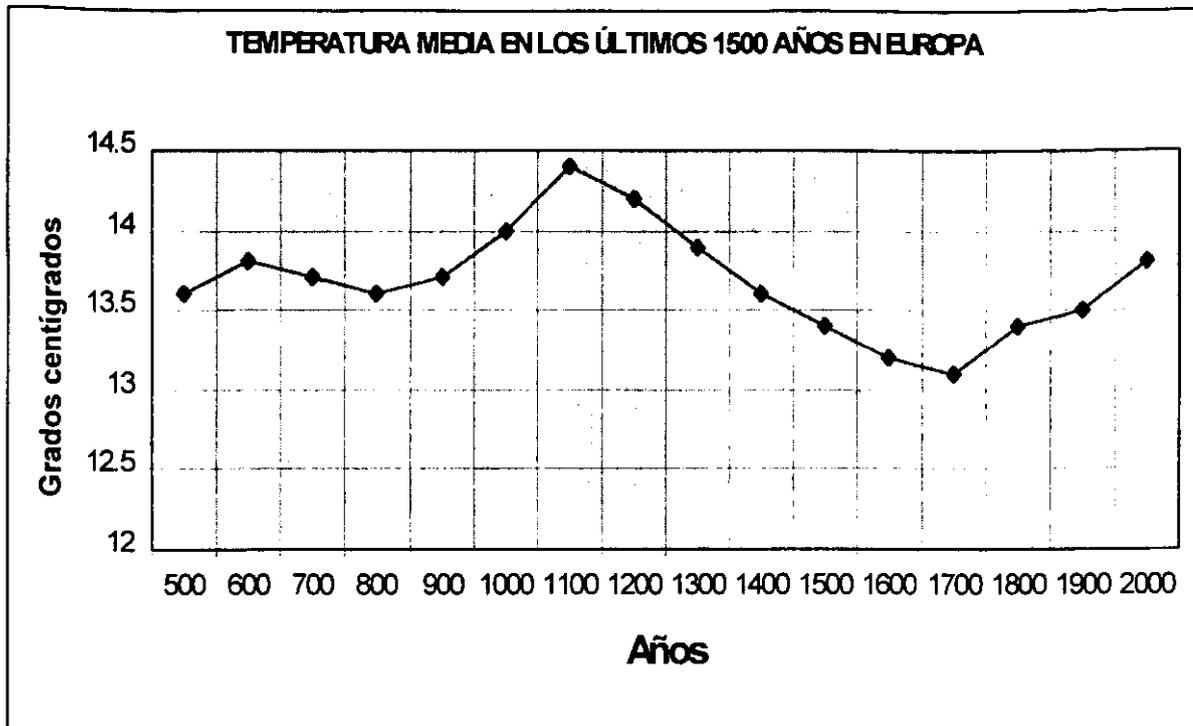
Después de la conquista de México por los españoles, las actividades humanas se incrementaron, como la agricultura, la ganadería, la Silvicultura y la minería. Con el aumento de las labores y la población, se acelera también la extracción de los recursos naturales. Un ejemplo fue la desecación paulatina de los lagos de los altos valles para edificar las plataformas de algunas ciudades, como México, Toluca, Puebla y Tlaxcala.

León (1975), asevera: "el funcionamiento hidrológico del valle de México había producido en la época en la que llegaron los españoles una serie de lagos y lagunas de alguna extensión, dentro de los cuales podían señalarse como más importantes los de Texcoco, México, Chalco, Xochimilco, Zumpango, San Cristobal, Xaltocan, Apam, Tóchac y Tecomulco. Asimismo existían extensos bosques que cubrían las laderas montañosas y mantenían fijo el suelo. Los depósitos subterráneos, llenos a su capacidad, mantenían el flujo en numerosos manantiales, donde la evapotranspiración de los lagos y de la vegetación propiciaban un nivel de humedad en la atmósfera, más confortable y menos sujeta a variaciones bruscas pronunciadas de temperatura que actualmente".

El deterioro ambiental que se ha producido en la Cuenca de México a través de los siglos es un ejemplo entre otros acontecimientos similares que han tenido lugar en todo el territorio nacional. A medida que fue creciendo la ciudad de México y otras ciudades en el interior del país, los elementos climáticos han experimentado ciertas modificaciones. A pesar que en la República Mexicana se han presentado graves problemas climáticos, en el presente trabajo no se consideran debido a que éste sólo comprende algunos ejemplos de variaciones climáticas en ciertas regiones del mundo.

La gráfica 4.2, representa en términos generales el curso que ha seguido la temperatura en la Tierra en los últimos 1,500 años. Aunque Gribbin sólo da a conocer los grandes acontecimientos térmicos, puede apreciarse con claridad los grandes períodos que se han identificado por sus peculiares situaciones atmosféricas.

En la gráfica se puede ver con facilidad parte del período frío llamado subboreal que aconteció antes de la Edad Media, después se nota una época más cálida que corresponde al Medioevo en Europa, posteriormente viene un tiempo relativamente más frío que puede relacionarse con la Pequeña Edad Glacial, y después, de 1780 en adelante ocurre un ascenso térmico que puede coincidir con el aumento de las manchas solares y el incremento en la Tierra de los gases de efecto invernadero.



Gráfica 4.2  
Fuente: Gribbin, 1985.

#### 4.4.2.4 Pequeña edad glacial

No se sabe con precisión cuando volvió el clima frío a Europa, Norteamérica, Asia y con seguridad en otras regiones de la Tierra, sólo se supone que desde el siglo XIII, los hielos ya bloqueaban los trayectos de los escandinavos hacia Islandia y Groenlandia. El avance de los glaciares fueron fatales para las colonias nórdicas, ya que dejaron de tener comunicación con Europa. Al final de la Edad Media se inicia otro hito en las basculaciones climáticas: se trata de un descenso de las temperaturas que se hizo más evidente de 1550 a 1850, teniendo su máximo rigor a mediados del siglo XVIII.

Erickson (1992), afirma: "el mundo estuvo bajo el dominio de una Pequeña Edad de Hielo desde el tiempo en que Colón hizo sus viajes a América hasta casi la mitad del siglo XIX. Las temperaturas medias anuales descendieron hasta 1°C. En las tierras del norte de Europa, el desplazamiento de los glaciares expulsó a las poblaciones de lo que, en otro tiempo habían sido valles frondosos. Al final del siglo XVIII, cuando los colonos americanos luchaban contra los británicos durante la guerra de la Revolución, para el ejército de las colonias los severos inviernos representaban una amenaza mayor que los británicos".

Uno de los indicadores más fidedignos para determinar las variaciones climáticas ha sido el congelamiento o el deshielo de los ríos de las latitudes elevadas. Gribbin (1986), testifica que "en 1269-1270, el río Támisis se heló desde su desembocadura.

Las mercancías normalmente transportadas desde la costa en barcos tuvieron que ser enviadas por tierra. Entre 1407-1408 y 1564-1565, se heló al menos 6 veces. En total el río se solidificó diez veces durante el siglo XVII y diez veces más entre 1708 y 1816, desde entonces nunca se ha llegado a helar del todo".

En relación con el clima frío en Londres en el año de 1684, se dice lo siguiente. Isaac Asimov (1989), introduce una cita del relato de un cronista inglés en el año de 1684 con respecto al tiempo atmosférico de aquella época y dice: "las heladas continuaron cada vez más intensas; el Támesis, a su paso por Londres estaba sembrado de construcciones alineadas formalmente... de modo que parecía haberse consumado sobre el agua el triunfo del carnaval, en tanto que la tierra sufría un duro castigo. Los árboles como tocados por sendos rayos, partían; las personas y los animales perecieron en diversos lugares; los lagos estaban tan helados que las embarcaciones no podían entrar ni salir. No se podía extraer agua de los caños y depósitos. Y a cada instante se producían desastrosos accidentes. (Descripción de la gran helada, 1683-1684)".

Descripciones como la anterior son numerosas sobre los episodios climáticos de aquél período. La cita coincide con las décadas en que ocurren las más bajas temperaturas en Europa, Norteamérica y Asia.

En Europa, los glaciares avanzaron hacia las aldeas en los Alpes como consecuencia de inviernos nevados y veranos fríos. Uno de esos glaciares fue el que se encontraba al principio del río Rhone. Este fluye desde los Alpes suizos hacia el oeste y llega al Mediterráneo. El cosmógrafo alemán Sebastián Münster, en 1546, lo describe así: "por lo que yo pude calcular era de dos a tres picos de montaña en lo grueso y tan ancho como el avance de un arco. Su longitud se estiraba infinitamente hacia arriba, de tal modo, que no se podía ver su fin. De allí fluía un arroyo: una mezcla de agua y hielo que jamás podría haber cruzado a caballo sin un puente".

Ladurie (1971) citado por Le Roy (1991), en un estudio realizado en los glaciares europeos, interpreta las longitudes de montaña de la manera siguiente: las dimensiones de un arco son del orden de 120 a 150 metros de altura y más de 2,000 metros de ancho en la parte frontal del glaciar.

A lo largo de casi trescientos años que duró el tiempo glacial, se elaboraron una gran cantidad de documentos que describen los acontecimientos. Por ejemplo, se habla de las dimensiones de los bloques de hielo y sus expansiones; de los efectos perniciosos a los cultivos y las deficientes cosechas; y en general de las condiciones atmosféricas crudas que imperaron.

Le Roy (1991), habla: "en Suecia, el rendimiento de los cereales disminuyó entre 1554 y 1640, esto se debió a inviernos muy crudos; cita a Gustav, Utterstrom, quien afirma: los granos del Báltico se recorrieron con dirección al Mediterráneo a partir de la década de 1590. Por motivos de bajas temperaturas también dio origen al despoblamiento de España en el siglo XVII, junto con una disminución de borregos en

este país, después de 1560".

Le Roy (1991), agrega: "existen muchos datos que pueden indicar cambios climáticos; sin embargo, muchos de esos hechos se antojan criticables, pues la disminución de la vid y del ganado, el decremento de los cereales, etc., no son pruebas evidentes de alteraciones atmosféricas".

No obstante, Le Roy, admite que durante la Pequeña Edad Glacial, las temperaturas estuvieron por debajo de las actuales entre 0.3° y 1.0°C, y estos valores térmicos bastan para desequilibrar la acumulación o el detrimento de los glaciares.

Pall Bergthorsson citado por Bryson y Murray (1985), mediante sus estudios climáticos de 1962 a 1969, identifica la década de 1750 como típica de aquel tiempo todavía frío en Islandia, y menciona las condiciones atmosféricas de la década de los cincuenta en el siglo XVIII.

#### SITUACIONES CLIMÁTICAS DE 1751 A 1760 EN ISLANDIA

AÑOS	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS
1751	Existe hielo resbaloso en la costa oeste
1752	Frío desde febrero hasta Pascua
1753	Poco hielo flotante en el mar
1754	Hielo en invierno y verano
1755	El hielo dura hasta siete meses
1756	Hielo flotante desde marzo hasta el 25 de agosto
1757	Hielo flotante prolongado hasta junio
1758	Hizo frío pero no hubo hielo flotante
1759	Hielo flotante severo en la costa norte
1760	No se menciona hielo

Cuadro: 4.5

Fuente: Bryson y Murray, 1985.

Sin duda los glaciares dejaron amplia huella, no sólo en la superficie terrestre, sino también en la mente de los habitantes que los presenciaron. De esto, existen algunos relatos, uno de ellos es el que escribe en 1816, Percy Bysshe Shelly (poeta representante del romanticismo inglés a principios del siglo XIX); es un poema del valle de Chamonix, titulado: "Monte Blanco", y dice:

"Los glaciares se arrastran  
Como víboras que observan su presa,  
Desde sus lejanas fuentes,  
Lentamente se mueven; allí, muchos precipicios,  
Heladas y el Sol en desprecio del poder mortal  
Se han apilado: domo, pirámide y pináculo  
Una ciudad de muerte, distinta, con muchas torres  
Y pared impregnada de brillante hielo".

Le Roy (1991), dice "a través de las regiones alpinas se pueden hallar gran cantidad de leyendas, cuentos y costumbres que se pusieron en voga, cuando transcurrió la Pequeña Edad Glacial". Pero, la mayor parte de estudios que se han llevado a cabo para determinar los episodios climáticos, corresponden primordialmente a Europa y Norteamérica. Estudios sobre el clima en Wisconsin, revelan que durante ese período, las temperaturas medias descendieron en alrededor de 1.0°C.

Varios climatólogos coinciden que la Pequeña Edad Glacial, pese a su nombre, no fue una época de frío intenso, pues se han detectado muchos veranos secos y cálidos, en Europa, en la segunda mitad del siglo XVII, y las sequías probablemente representaron un problema para muchos países.

Holmes (1966), se refiere: "en mayo de 1812, Napoleón declaró la guerra a Rusia. Salió de Dresde con un ejército de 600,000 hombres y, como en todas sus campañas alcanzó una serie de rápidas victorias. Pero sufrió grandes pérdidas durante las marchas. En territorio ruso sus hombres padecían por el asfixiante calor. Más tarde, Napoleón entró en Moscú (14 de septiembre), victorioso, pero con un ejército aletargado por el cansancio. Pero hay testimonios que el invierno ruso de 1812, se presentó inusitadamente temprano, con un frío sin precedentes. Frío, hambre y enfermedades, se apoderaron del ejército napoleónico, que también fueron azotados por fuertes vientos; titiritando y desmoralizados dieron a la retirada. Fue la primera derrota de Napoleón, y su adversario victorioso había sido el General Tiempo Atmosférico".

También en la novela histórica "Los Miserables" de Victor Hugo, se narra en uno de los capítulos la batalla de Waterloo, y se dice que probablemente ese combate no hubiera sido perdido por Napoleón, si durante la noche de los días 17 y 18 de junio de 1815, no hubiera llovido abundantemente, como aconteció en esas fechas. Victor Hugo narra lo siguiente: "Si no hubiera llovido en la noche del 17 al 18 de junio de 1815, el porvenir de Europa hubiera cambiado... la lluvia hizo decaer a Napoleón. A consecuencia de la lluvia, los convoyes de víveres atascados en los caminos llenos de lodo y de baches, no podían llegar a su destino por la mañana, los soldados no habían podido dormir, estaban calados de agua hasta los huesos, razón por la que Napoleón ordenó atacar hasta las 11:35 de la mañana, lo que dio tiempo a los ingleses y a los prusianos (aliados) reforzar sus líneas. Todo el día 18 de junio estuvo nublado hasta el anochecer".

La narración anterior por Victor Hugo, es otro ejemplo donde un fenómeno meteorológico pudo intervenir en la historia del hombre. La lluvia precedente a la batalla de Waterloo, pudo ser consecuencia de las explosiones del volcán Tambora en abril de 1815. Hay que resaltar que Victor Hugo en su gran novela describe de manera recurrente, las condiciones atmosféricas anormales que ocurrieron en Francia entre 1815 y 1816.

Por otro lado, la poetisa inglesa Mary B. Shelley, en su viaje que hizo a Ginebra en

1816, habla sobre las condiciones atmosféricas prevalecientes en Suiza, y dice: "mas aquel verano fue frío, húmedo y desagradable; las lluvias incesantes nos obligaban a menudo a pasar días enteros en la casa... a través de la ventana se contemplaba el lago helado y los Alpes blancos y elevados... en esos días me dedique a pensar en un cuento que hablara de los misteriosos terrores de nuestra naturaleza y despertase miedos estremecedores".

El texto anterior se menciona en un prólogo de la novela magistral de Shelley, llamada "Frankenstein", y la hizo precisamente en 1816. Como se sabe, todo el curso de la novela presenta ambientes gélidos, brumosos y dantescos. Este es un testimonio más del clima frío que caracterizó a ese año.

El libro de Le Roy (Historia del clima desde el año mil), referente al clima del año 1816 en Europa, narra las vivencias de un campesino de la región de Sena y Marne Francia, y dice: "la primavera de 1816 fue fría y tardía. No empezamos a cortar el trigo sino hasta el 20 de agosto, fecha muy tardía. No podíamos cortar dos días seguidos por las fuertes lluvias. De golpe el trigo escaso y caro valía de 50 a 60 francos el costal. Nada de vino. Las viñas se helaron en las cepas. En cuanto al pan viscoso y húmedo no se podía comer. De pronto el hambre se instaló, se tuvo que vivir o morir de esa mala cosecha durante 12 meses que se siguieron hasta el verano de 1817".

Concluye el autor que el frío y las lluvias de 1816 dañaron sucesivamente el crecimiento y maduración del trigo, tan ávido de calor y de sequía. Las anomalías climáticas en esos años provocaron hambres y disturbios sociales en Francia y otros países de Europa.

El clima lluvioso y frío que se presentó en Europa y Norteamérica en 1815, 1816 y 1817, se cree que se debió a la gran erupción volcánica del Tambora el 11 y 12 de abril de 1815; situación que ya se trató en el capítulo anterior.

En México no se dispone de información suficiente sobre las condiciones atmosféricas que prevalecieron en 1816 y los años subsecuentes, dado que el país estaba ocupado en el proceso de independencia, pero al revisar el documento del Análisis Histórico de las Sequías en el territorio nacional, publicado por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (1980), se encontró que en la península de Yucatán hubo una sequía imperante en el año de 1817. El fenómeno puede estar relacionado con el enfriamiento en otras regiones del mundo, ya que un año relativamente frío en las zonas tropicales puede inducir a un decremento en el régimen de lluvias, pero no se sabe con certeza que los acontecimientos hayan pasado de esa manera.

Por otra parte, Gribbin (1986), al referirse al gran período frío, declara: "según algunos especialistas, la Edad Glacial, que tuvo su máximo en el siglo XVII, no ha terminado todavía, y de la misma manera, los últimos diez mil años templados marcan un intervalo temporal entre glaciaciones; el siglo XX puede representar en una escala de tiempo más corta, un respiro temporal entre pequeñas glaciaciones".

El clima más o menos frío que caracterizó al período de casi tres siglos tiene sus explicaciones, las que comentan algunos investigadores.

Bravo (1988), comenta: "en la década de 1890 tanto Walter Maunder, en Inglaterra, como Gustav Sporer, en Alemania, hicieron notar el hecho de que entre 1645 y 1715, las manchas solares fueron muy escasas, y los ciclos de 11 años del Sol dejaron virtualmente de existir. Maunder publicó su hallazgo en 1894 y de nuevo en 1922 pero nadie prestó mucha atención a sus palabras. Sin embargo, en el decenio de 1970, John Eddy se empeñó en demostrar la veracidad de la falta de manchas solares durante esa época, a la que él llamó "el mínimo de Maunder".



Figura 4.16 Los glaciares. Las nevadas constantes hacen crecer los glaciares, los que se desbordan por las pendientes, originando arroyos y ríos. Revista Salvat, 1983.

Como ya se mencionó, los estudios relacionados con la actividad solar, como los de Eddy indican que durante la Pequeña Edad Glacial, se redujo considerablemente el número de manchas solares y auroras polares. Nuevamente el decremento de la aparición de dichos fenómenos conduce a una mejor radiación solar hacia la Tierra.

Otaola (1988), argumenta: "variaciones de tan sólo uno o dos por ciento en la luminosidad solar tienen fuerte repercusión en el clima. La inconstancia de la radiación solar ha sido desde hace mucho tiempo la variación del número de manchas que se presentan en el disco visible del Sol. La conexión entre la actividad solar y el clima se ha centrado en este indicador básico: variación de las manchas solares.

La Pequeña Edad Glacial se caracterizó por el reducido número de manchas solares con lo que se infiere que la actividad solar disminuyó sus efectos térmicos hacia la atmósfera de la Tierra y con ello se entró a un período de bajas temperaturas que se propagó a lo largo de casi tres siglos. Hay que recordar que el enfriamiento ambiental pudo estar reforzado con un campo magnético terrestre con poca fuerza y además con la tendencia natural hacia un descenso térmico que se debe prolongar hacia los próximos miles de años.

A manera de síntesis en el siguiente cuadro se muestran los principales acontecimientos climáticos que se presentaron en las eras y períodos de la historia geológica en Tierra.

### CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES EN LAS ERAS Y PERÍODOS DE LA TIERRA

ERAS Y PERÍODOS	TIEMPO	CLIMA
1850-actualidad	1850-actualidad	Gte. cálido con intervalos fríos
Pequeña Edad Glacial	1550-1850	Frío, máximo rigor entre 1730 y 1765
Edad Media	1000-1500	Cálido llamado Pequeño Óptimo Climático
Período Subboreal	1500 a.J.C.-900 d. J.C.	Período frío, los hielos avanzaron hacia el sur de Europa y Norteamérica
Óptimo Climático	6000-1500 a.J.C.	Cálido y húmedo, las temperaturas en Europa fueron 2°C más altas que ahora
Holoceno	10,000-actualidad	Termina la última glaciación del Pleistoceno y comienza un clima cálido
Pleistoceno	Hace 2 millones a 10,000 años	Época que presenta 4 grandes glaciaciones
Era Cenozoica:	Hace 70 millones de años	El clima al principio fue cálido y húmedo y después hubo períodos fríos
Cretácico	135-70 m. de a.	Clima con temperaturas más altas que en la actualidad
Jurásico	180-135 m. de a.	Clima cálido con alternancia de períodos fríos y secos
Triásico Era Mesozoica:	225-180 m. de a.	El clima al principio fue frío y después se tornó más cálido
Pérmico	270-225 m. de a.	Ocurrieron grandes glaciaciones
Carbonífero	340-270 m. de a.	Clima cálido y húmedo
Devónico	400-350 m. de a.	Cálido y húmedo
Silúrico	440-400 m. de a.	Templado y Cálido con intervalos fríos
Ordovícico	500-440 m. de a.	Cálido con glaciación al final
Cámbrico Era Paleozoica:	580-500 m. de a.	Clima templado y cálido
Era Prepaleozoica	3500-580 m. de a.	Clima variable: frío y húmedo

m. millones de años

Cuadro 4.6

Fuente: Datos del trabajo de la presente investigación.

El cuadro anterior muestra las características climáticas generales en las eras de la historia geológica de la Tierra, donde se aprecian condiciones cálidas que alternan con períodos fríos, templados y secos. La información que se dispone sobre los principales acontecimientos climáticos expone de manera general eventos fríos y cálidos y ocasionalmente se deducen tiempos templados. El argumento anterior puede deberse a que la mayoría de los investigadores buscan los indicadores más apropiados que puedan identificar los valores más extremos del clima que casi siempre son los cálidos y los fríos.

A pesar que los períodos fríos se alternan con los cálidos, los investigadores mencionan que las glaciaciones y los eventos fríos han ocupado más tiempo de la historia climática que los períodos relativamente más calientes.

El cuadro anterior resume las principales condiciones climáticas que han acontecido en el planeta y puede servir como guía para comprender el dinamismo atmosférico, e indicar que los eventos del presente han tenido sus réplicas en el pasado.

Hasta aquí se presentan los períodos y eras que se han distinguido en la Tierra por ciertas peculiaridades ambientales, así como los principales factores o fenómenos que pudieron motivarlos. Después de la mitad del siglo XIX, el clima mundial comienza a tornarse hacia características más cálidas, hecho que se ha relacionado primordialmente con la expansión de las actividades humanas, sin dejar de tomar en cuenta otros fenómenos como la radiación solar.

Después de la Revolución Industrial se comenzaron a propagar las máquinas en las actividades humanas y esto condujo a un deterioro ambiental en varias regiones del mundo. La transformación de los recursos naturales condujo a modificar los sistemas climáticos. Algunos investigadores opinan que a partir de mediados del siglo XIX, cuando se incrementan los procesos industriales las temperaturas comienzan a elevarse y así dar lugar a variaciones climáticas importantes. Algunas consideraciones sobre el clima de 1850 a la actualidad se abordan en el capítulo siguiente.

## CAPÍTULO V

### EL CLIMA DE 1850 A LA ACTUALIDAD Y EL EFECTO INVERNADERO

#### 5.1 El clima de 1850 a la actualidad

El clima relativamente frío que se experimentó en Europa, Estados Unidos y Asia, a lo largo de tres siglos, fue interrumpido en las primeras décadas del siglo XIX, pues se ha fechado de manera general que después de 1850 los hielos retrocedieron hacia el norte, la retirada se debió a un incremento de las temperaturas que se mantuvo, según algunos investigadores hasta 1950.

Bryson y Murray, (1985), infieren: "al estudiar los registros climáticos, se puede deducir con bastante certeza que las temperaturas promedio se incrementaron en alrededor de 0.6° a 1.1°C en esos 100 años a través de las latitudes de Europa y Estados Unidos. El incremento no fue constante, ni uniformemente distribuido puesto que en algunos lugares afectó primordialmente una estación del año y, en otros sitios, otra".

Los autores anteriores, mencionan los trabajos que han realizado algunos investigadores en relación con los ascensos de temperaturas que han acaecido en esos años.

Manley (1975), citado por Bryson y Murray (1985), dice: "las temperaturas de la zona norte de Europa aumentaron a través de cerca de cien años, después de 1850. Al principio los inviernos se calentaron y más tarde, ocurrió lo mismo con las primaveras y los veranos. La temperatura anual en Copenhague aumentó cerca de 1.4°C en esos cien años.

Los glaciares en Europa retrocedieron bastante más allá de sus avances aplastadores en las aldeas de la pequeña era glacial. En Islandia, la zona limítrofe climática del sensible Atlántico Norte las temperaturas aumentaron alrededor de 1.3°C, entre la última parte del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX".

La tendencia del calentamiento se invirtió en la década de 1880. el volcán Krakatoa hizo erupción en Indonesia en 1883 y arrojó una gran cantidad de cenizas hacia la atmósfera que se expandió por casi todo el planeta. Este acontecimiento trajo condiciones climáticas frías entre 1883 y 1885 en Europa, Norteamérica y tal vez en otras regiones del mundo.

No se sabe si es solo coincidencia o tuvo que ver en algo, el cuento llamado "Las Primeras Nieves" del francés Guy de Maupassant, el cual fue escrito en 1885, y en él se narra el casamiento de una pareja que decide ir a vivir a Normandía (Noroeste de Francia), donde la joven esposa se enferma por depresión, al contemplar paisajes helados, lúgubres y tempestuosos. El autor describe en un pasaje: "llegó el invierno de

Normandía, frío y lluvioso. Los interminables aguaceros hacían crujir las pizarras, los caminos parecían ríos de agua turbia... solamente se veían aletear los cuervos, que se posaban sobre los campos como una tempestuosa y negra nube... Ella pedía más fuego, junto a la chimenea quemaba leños y más leños, sin lograr que se templaran las inmensas habitaciones invadidas por el frío y humedad exterior. El frío traspasaba su carne, llegando hasta la médula de sus huesos".

El cuento de Maupassant escrito después de la gran erupción del Krakatoa puede ser obra de la casualidad, pero la narración es el prototipo de las condiciones meteorológicas frías que se han dicho en eventos poco comunes del tiempo en otros años. No obstante, los argumentos de un cuento suelen ser ficticios.

Le Roy (1991), elabora una recopilación de acontecimientos que han acontecido después de 1850 con respecto al clima, y estima:

- ◆ El calentamiento reciente del clima no va más allá de 1.0°C, con promedios anuales en la región de los Alpes, de 1900-1919 a 1920-1939, es de 0.33 y 0.44°C. Es interesante, es significativo, pero al final de cuentas poco.
- ◆ Sin embargo, esa fluctuación modesta, que prolonga un calentamiento, se traduce en el desvanecimiento de los glaciares. Los glaciares de la cuenca del Tarantaise pasaron de 10,316 ha., en 1863 a 8,664 ha., en 1910.
- ◆ En promedio el espesor de los glaciares está disminuyendo 50 metros por siglo. Algunos glaciares de Columbia Británica han perdido de 1 a 3 metros de espesor por año, entre 1911 y 1947. Uno de estos glaciares cubría 17,210,000 m<sup>2</sup> en 1947, o sea, una pérdida del 40% en tres generaciones.
- ◆ El calentamiento reciente no sólo tiene influencia sobre los glaciares, también actúa sobre los océanos, los ha estado calentando. La elevación del nivel del mar se conoce desde hace un siglo, por los datos de mareógrafos distribuidos por todo el mundo: los especialistas evalúan en un aumento de 2 mm por año, o sea de 10 a 20 cm por siglo.

Con la información anterior, el autor concluye diciendo: desde hace 3,000 años y más, ha habido altas y bajas de la temperatura; variables en amplitud y en duración. Esta aptitud climática no es privilegio del siglo XX.

Scherhag (1970) citado por Jones (1992), hace una referencia: "el intenso calentamiento del período 1860-1945, hizo retroceder en dirección a los polos el límite del hielo. Grandes bancos de peces avanzaron hacia el norte y comenzaron a surgir plantas criptógamas y animales superiores. La economía de Groenlandia se reorganizó; los esquimales se convirtieron de cazadores en pescadores, e incluso en el sur se volvió a introducir la cría de ovejas".

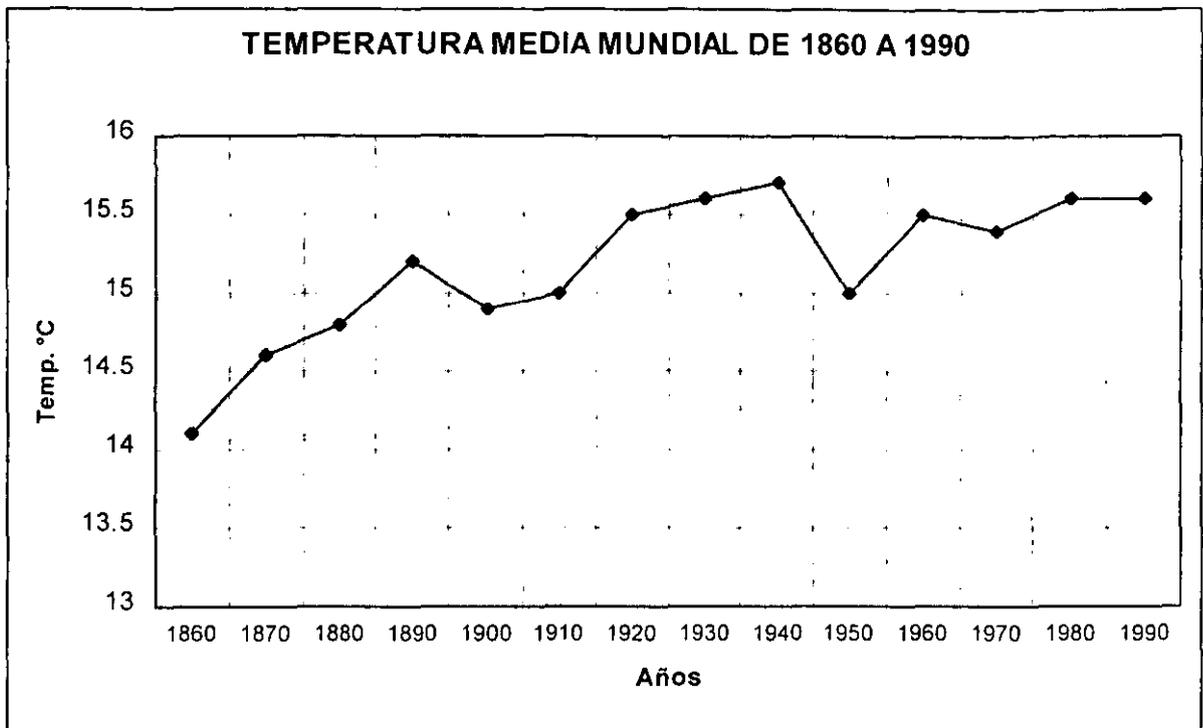


Figura 5.1 Los icebergs. Los bloques de hielo se desprenden de los grandes glaciares; pueden desplazarse a menores latitudes con un aumento de la temperatura a nivel mundial. National Geographic, 1985.

Se ha observado que el calentamiento que abarcó casi un siglo, ha sido continuado por otro lapso más frío, que da comienzo en la década de los cuarenta (siglo XX) y se extiende hasta los setenta.

Lamb (1982), comenta: "el enfriamiento se estableció en el hemisferio norte antes de 1950, y ha llegado cuando menos hasta 1975. Entre 1968-72, la temperatura media en cinco años, en el Atlántico Norte (medida por nueve barcos meteorológicos estacionados entre 33° y 66° norte) fue de 0.56°C, más baja que la temperatura media equivalente para el período 1951-55". Los años 1962-1975, han sido testigos de muchas marcas de temperatura, valores extremos, tanto de máximas como de mínimas, en las latitudes medias del hemisferio norte".

Jones (1992), dice: "en un trabajo realizado por mí y mis colegas de la Universidad East Anglia en Gran Bretaña; muestra que desde 1861, el mundo se ha calentado 0.5°C. Este calentamiento tuvo lugar principalmente antes de 1940. Entre 1940 y 1965, el hemisferio norte se enfrió unos 0.2°C. Los años ochenta son sin duda alguna los más cálidos registrados desde el decenio de 1860, ya que agrupan los seis años más cálidos: 1980, 1981, 1983, 1987, 1988 y 1989".



Gráfica: 5.1  
Fuente: Jones, 1992.

Como se aprecia en la gráfica 5.1 los valores térmicos de 1860 a 1910 presentan incremento relativamente lento, pero después de la década de los veinte, el incremento es notorio, presentándose los valores más elevados de los años sesenta a los noventa del siglo XX. Sin embargo, el incremento de los valores en los últimos 30 años es de alrededor de 1.0°C. El inconveniente de la gráfica es que los datos se muestran por décadas, lo que dificulta diferenciar las variaciones en algunos años.

Sin embargo, Jones (1992), comenta que para deducir el comportamiento de la temperatura de 1860 a 1990 en la Tierra fue necesario la compilación de datos procedentes de varios centenares de estaciones meteorológicas. La serie de datos se compone de temperaturas registradas en los continentes y en los océanos de los dos hemisferios.

Con base en el calentamiento de 1970 en adelante, Bradley, Raymond, de la Universidad de Masschusetts, en Estados Unidos, ha proporcionado información sobre la tendencia de las precipitaciones en el mundo: se esperan condiciones húmedas en las latitudes medias y altas, y algunas secas en las bajas latitudes.

Hay que tener presente que las estaciones meteorológicas se comenzaron a instalar en el mundo, primordialmente apenas al inicio del siglo XX, y su mantenimiento y el personal que las maneja no ha sido siempre eficiente; por esta razón quien pretenda

dar informaciones climáticas basadas en esos datos, no se le pueden considerar del todo confiables, ni para una región ni para un tiempo determinado.

Enseguida se mencionarán algunos de los factores o fenómenos que han motivado las fluctuaciones atmosféricas de 1850 hasta la actualidad.

Como ya se contempló, el ascenso general de las temperaturas a partir de mediados del siglo XIX, ha sido del orden de  $0.5^{\circ}$  y  $1.5^{\circ}\text{C}$ , en diversas regiones de Europa, Norteamérica y Asia (continentes donde más se han estudiado los fenómenos climáticos), aunque la mayoría de los estudios presentan valores que fluctúan entre  $0.3^{\circ}\text{C}$  y  $0.5^{\circ}\text{C}$ , lo que sugiere que el valor de  $1.5^{\circ}\text{C}$ , es el extremo.

El climatólogo francés Le Roy (1991), comenta que a lo largo de los últimos 3,000 años han existido ascensos y decrementos de las temperaturas en la Tierra, con lo que el aumento térmico observado después de 1850, no es exclusivo del siglo XX.

Como ya se ha visto hasta ahora, existen grandes eventos que conducen y rigen el comportamiento climático en medianas y grandes escalas: hacia un período glacial o interglacial. Pero, existen irrupciones de otros fenómenos que interfieren en magnitudes pequeñas y medianas. Una de esas intervenciones en el clima mundial en los últimos años puede ser el incremento de los gases en la atmósfera, como consecuencia de algunas actividades humanas.

De acuerdo a varios investigadores en las últimas décadas se ha registrado un ascenso de las temperaturas a nivel mundial, y sus causas pueden ser varias: un campo magnético debilitado, actividad solar más intensa y un aumento de gases que refuerzan el efecto invernadero.

El alemán Friedrich realizó en 1838 un análisis matemático en que daba a conocer que el 95% del campo magnético se origina en el interior de la Tierra, y sólo el 5% tiene fuentes externas. Agrega que el eje magnético está inclinado  $11^{\circ}$  en relación con el eje geográfico; y la posición de los polos tiene pequeños movimientos diarios, estacionales y seculares, y que esta situación es indicador de un campo magnético fuerte y uno débil.

Orozco (1988), menciona: "a partir de 1840 se han estado realizando mediciones del campo magnético de la Tierra, y se ha observado que la tendencia es hacia un mínimo, si el rumbo continúa así, en los próximos siglos este efecto llegará a sus niveles más bajos. Se sabe que la disminución del campo magnético motiva también un debilitamiento de la capa más externa de la atmósfera: la magnetosfera.

Se sabe también que cuando las manchas solares se incrementan, el campo magnético terrestre recibe mucho más energía, lo que conlleva al aumento térmico en los climas. Otaola y Mendoza (1993), aseveran que la variación de las temperaturas medias globales entre sucesivos máximos y mínimos de manchas solares es de aproximadamente  $0.3^{\circ}$  a  $0.4^{\circ}\text{C}$ . Este cambio de la temperatura es suficiente como para

causar variaciones climáticas importantes en la Tierra.

A partir de 1730 el número de manchas solares se ha incrementado, mostrando altas y bajas, pero con una tendencia positiva. Se ha observado que existe un período de 180 años en el que la cantidad de manchas solares se eleva apreciablemente, a este incremento se le ha denominado "Máximo de Gleissberg", en honor a su descubridor. El primer episodio estudiado ocurrió de 1610 a 1790, después viene un lapso de calma entre 20 y 40 años, a partir de 1830 se vuelven a incrementar el número de manchas, y se dice que probablemente dure hasta el 2010. Pero se han observado máximos en los años cuarenta, sesenta, ochenta y noventa.

Willson (1998), citado por Otoala y Mendoza (1993), declara: "a partir de información obtenida desde 1978 por varios satélites de observación, señala que el flujo solar (o radiación), es decir, la cantidad total emitida por el Sol, aumentó 0.036% entre 1986 y 1996. Si este ritmo de crecimiento se mantiene constante se puede esperar que dentro de cien años la temperatura del planeta aumente 0.4°C".

La declaración de Willson es bastante sensata, pues se sabe que entre 0.3° y 1.5°C, son los valores que pronostican la mayor parte de investigadores que han estudiado los intervalos de climas cálidos y fríos.

Otro de los eventos que pueden estar contribuyendo de manera importante al calentamiento del planeta es el incremento del efecto invernadero. Se sabe que a partir de la Revolución Industrial, se ha arrojado a la atmósfera una gran cantidad de gases, entre los que destacan, el dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, metano, ozono, entre otros.

Así, el climatólogo Lamb (1982), dice: "fue solamente después de la Segunda Guerra Mundial cuando comenzó la tendencia climática hacia un calentamiento global, y el tema se convirtió en la discusión de los científicos y del interés del público".

Lamb tiene razón, pues es después de la Segunda Guerra Mundial cuando los científicos se dan cuenta que el ambiente ha quedado muy deteriorado por el conflicto internacional y los efectos en el clima pudieron ser relevantes, como un incremento de los gases, y por consiguiente un calentamiento adicional.

Jones (1992), afirma que las décadas más cálidas para el hemisferio norte fueron de 1931 a 1960, y el año con temperaturas más elevadas fue el de 1949. Mientras Schneider citado por Jones (1993), comenta que la década más caliente del siglo XX fue la de los ochenta, y el año más caliente fue 1987. Las temperaturas a lo largo de este siglo han sido del orden de 0.3° a 1.5°C, como ya se dijo son valores bastante significativos para alterar el clima mundial.

Sadourny (1996), asegura que en la actualidad el ser humano arroja a la atmósfera alrededor de 7,000 millones de toneladas de dióxido de carbono a lo largo del año. Aunque menciona que alrededor de un 30% es absorbido por los océanos y el 20% se

utiliza en el crecimiento de las plantas. Aún con la participación importante de esos cuerpos receptores, el 50% que permanece en la atmósfera es bastante considerable para interferir en los sistemas climáticos de la Tierra.

La oscilación del campo magnético terrestre, la variación de la actividad solar, el calor arrojado del interior de la Tierra y el incremento del efecto invernadero pueden ser los factores más importantes que han incrementado el calentamiento de la atmósfera de nuestro planeta. Cuando coinciden las acciones de esos eventos, hacia un calentamiento o enfriamiento, sus efectos deben reforzarse y de esta manera, confinar ciertos comportamientos climáticos.

Los grandes cambios climáticos que han ocurrido en la Tierra se han llevado a cabo en el transcurso de miles y de millones de años. Los fenómenos responsables de esas transformaciones son primordialmente la deriva de los continentes y el dinamismo de la tectónica de placas. La excentricidad de la órbita de la Tierra, la variación del eje de rotación y el movimiento de precesión crean fluctuaciones y cambios en períodos de miles de años. La actividad solar, el campo magnético de la Tierra y el incremento del efecto invernadero, se relacionan con las variaciones climáticas en decenas y centenas de años. Mientras el impacto de meteoritos, las erupciones volcánicas y el calor arrojado por las ventilas hidrotermales afectan al clima por algunos años.

Las fluctuaciones es una característica intrínseca de los sistemas atmosféricos, mediante su conocimiento tanto del pasado como del presente se podrán dilucidar probablemente los eventos climáticos que ocurrirán en el futuro. Las oscilaciones climáticas han acontecido siempre, y no cabe duda que los tiempos antiguos y presentes se repetirán en el futuro, pero se desconoce aún como será su magnitud, frecuencia e intensidad. Lo importante será conocer algún día, las causas precisas que dan origen a las manifestaciones del clima, y así, organizar y planificar con mayor eficiencia el ambiente que habitamos.

Bryson y Murray (1986), al referirse a la historia del clima en la Tierra, infieren los lineamientos siguientes:

- a) No deberíamos pensar en el clima y en el tiempo de nuestras vidas como una "normal" constante. La parte media del siglo XX no es característica de los mil años previos, e incluso, es menos característica del pasado millón de años.
- b) El clima no solamente varía de un año a otro, sino también puede cambiar a un promedio nuevo de varios años.
- c) El clima, una vez alterado, puede permanecer así durante largos períodos, es decir, después que comienza un clima frío, por ejemplo, se prolonga en un tiempo relativamente largo.
- d) Los registros de climas pasados también muestran que aquellos tiempos en la historia de la Tierra, cuando las temperaturas en latitudes altas han sido más bajas,

generalmente han sido épocas de mayores extremos climáticos y erráticos o de ausencia de lluvias monzónicas en Asia.

e) Una vez que termina una era glacial, el clima generalmente permanece interglacial durante diez o doce mil años. El período interglacial presente tiene cerca de 10,800 años de antigüedad.

Los cuestionamientos anteriores pueden ser muy útiles para el estudio del clima, ya que se derivan de las experiencias adquiridas en investigaciones exhaustivas. También pueden servir de guía para aquellos que se interesan por estos tópicos, pues paulatinamente podrían discernir el conjunto de circunstancias que motivan el comportamiento atmosférico en el espacio geográfico.

A continuación se exponen algunos lineamientos y puntos de vista de algunos investigadores sobre el tema del efecto de invernadero. En los siguientes párrafos se lleva a cabo una crítica que puede coadyuvar en la comprensión del denominado Cambio Climático Global.

## 5.2 Efecto invernadero global

El efecto de invernadero se presenta en la Tierra desde que existe vapor de agua y dióxido de carbono en la atmósfera. Este fenómeno permite que las temperaturas en nuestro planeta no se eleven demasiado durante el día y no desciendan bruscamente en la noche, lo que ha permitido a través del tiempo mantener un equilibrio térmico y dar lugar a las diversas formas de vida. La intensidad y la magnitud del efecto de invernadero ha variado también en el transcurso del tiempo; no obstante, en la actualidad se considera que el proceso se ha incrementado como consecuencia de un aumento de gases derivados de diversas actividades humanas.

A continuación se exponen algunos lineamientos del efecto de invernadero, así como diversos puntos de vista de destacados investigadores que han abordado el tema. Los tópicos del efecto invernadero se colocan al final de este trabajo porque se considera que en los últimos 150 años es uno de los principales factores que está contribuyendo a las variaciones del clima en la Tierra.

Se cree que la atmósfera primitiva se formó hace unos 4,000 millones de años, mediante la liberación gaseosa del interior de la Tierra, la actividad volcánica y el impacto de material cósmico a la superficie terrestre. Los principales gases fueron: vapor de agua, dióxido de carbono, nitrógeno, argón, metano, amoníaco y otros gases de reducida cantidad.

A medida que la Tierra se enfrió, el vapor de agua se condensó de forma gradual para dar origen al agua líquida del océano. El dióxido de carbono que en un principio fue muy abundante, se comenzó a disolver en la hidrosfera, con la consiguiente formación de carbonatos, tales como la caliza; este proceso es primordial para la

composición de la atmósfera, pues el dióxido de carbono al reaccionar con los minerales del océano y la corteza se concentra en estos componentes y se limita la posibilidad de que este gas exista en demasía en el aire.

Se sabe que hasta hace unos 2,000 millones de años la atmósfera terrestre no contuvo oxígeno libre. El oxígeno comenzó a ser abundante en la atmósfera cuando surgieron el fitoplancton y las plantas. Al ir acumulándose el oxígeno, de manera gradual, se fue formando el ozono y, éste a su vez, comenzó a absorber la radiación ultravioleta.

A medida que el tiempo transcurrió, las plantas verdes dominaron en la Tierra, eliminando dióxido de carbono, que al combinarse con la luz solar se comenzó almacenar en sus tejidos hidratos de carbono. Con la disminución de este gas, es probable que la Tierra se enfriase un poco, pero continuó estando más caliente que en la actualidad.

El suficiente dióxido de carbono que existía durante el Carbonífero dio condiciones climáticas cálidas y húmedas que favoreció el crecimiento de las plantas: materia vegetal que posteriormente se enterró y se transformó en carbón. En el Mesozoico los animales también dominaron la Tierra; después quedaron sepultados entre los sedimentos y junto con las plantas se transformaron en petróleo y gas natural. Cuando se queman combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), se desprenden a la atmósfera las cantidades de dióxido de carbono que permanecían almacenadas. El dióxido de carbono junto con el vapor de agua, son considerados los dos gases más importantes que crean el llamado efecto invernadero natural en la Tierra.

El efecto invernadero consiste en que la radiación electromagnética proveniente del Sol es de longitud de onda corta, lo que facilita su paso a través de la atmósfera hasta la superficie terrestre. Las ondas que son devueltas al espacio son de mayor longitud, lo que permite que no puedan penetrar tan fácilmente en la atmósfera, en especial cuando hay suficiente dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases. Así, la energía de onda larga es considerada calorífica, por lo que las capas adyacentes a la superficie terrestre son más cálidas que las que se encuentran más arriba. De esta forma, la atmósfera actúa como los cristales de un invernadero. Los océanos y los continentes atrapan parte de la radiación solar y la que no atrapan la vuelven a radiar, pero a mayor longitud de onda (radiación calorífica). Los gases de invernadero son los que absorben esta energía de mayor longitud de onda y emiten radiaciones en todas las direcciones. El resultado es que la Tierra pierde menos calor hacia el espacio y permanece más caliente de lo que estaría sin dichos gases.

La idea de la analogía entre los cristales de un invernadero y la atmósfera se remontan al año de 1785, cuando el geólogo y físico suizo Horace Bénédict de Saussure construyó un aparato formado por cinco cajas de vidrio encajadas unas en otras, y provistas de termómetros a fin de demostrar el efecto de calor solar sobre el aire contenido por envolturas transparentes.

Saussure, con su aparato comprobó el efecto del calentamiento solar en la cima de una montaña con lugares de menor altitud, para determinar diferentes valores térmicos atribuidos al efecto invernadero. Pero en esa época faltaba la identificación de los gases responsables de esa transparencia para producir el efecto invernadero. El dióxido de carbono fue descubierto en el siglo XVIII por el químico escocés Joseph Black; pero no fue considerado como un gas radiactivamente activo hasta los años de 1860.

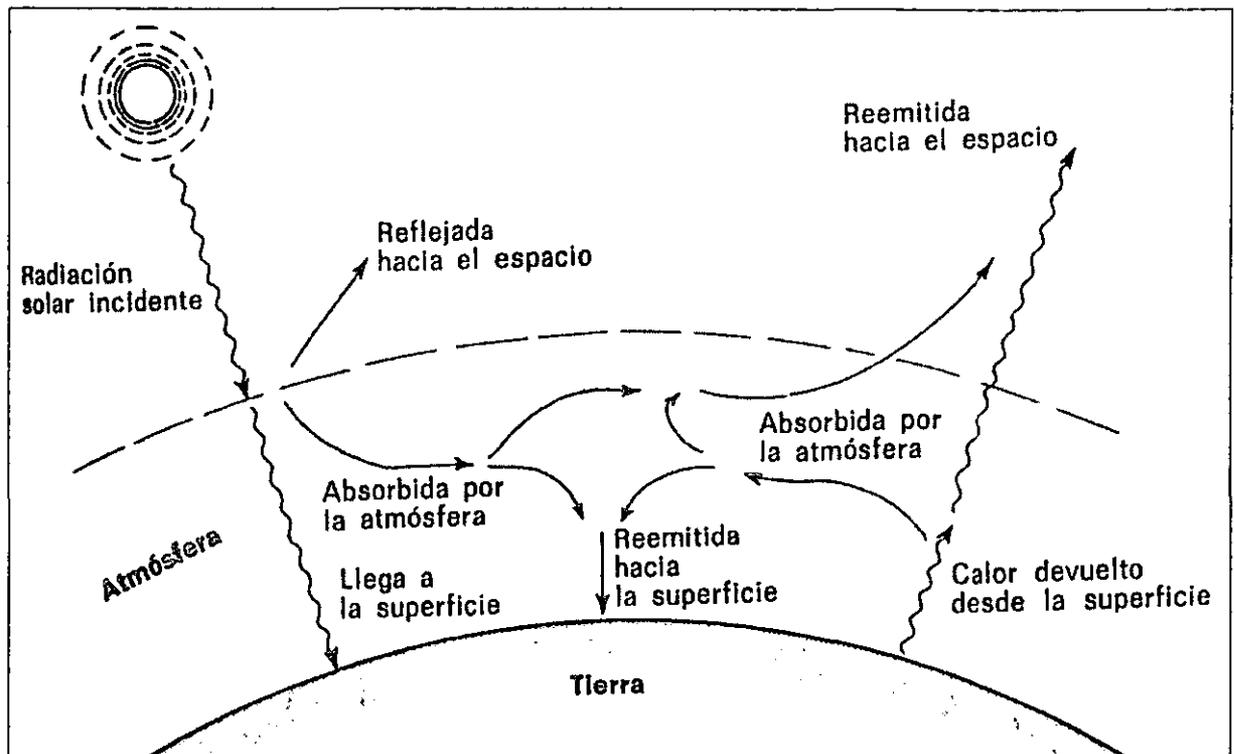


Figura 5.2 El efecto invernadero. Es el calor solar atrapado en las partes inferiores de la troposfera como consecuencia del calentamiento del suelo. Posteriormente el calor se desprende hacia la atmósfera y es retenido parcial y momentáneamente por el vapor de agua, las nubes, el dióxido de carbono y otros gases en menores proporciones. Bryson y Murray, 1985.

Garduño (1994), comenta sobre el efecto invernadero: "la semejanza atribuida entre los cristales de invernadero y la atmósfera es inexacta, pues el calor atrapado por los cristales de un invernadero es más bien consecuencia de que el techo impide la circulación vertical del aire entre el interior y el exterior, inhibiendo la convección".

Este autor tiene razón, pues no es lo mismo el comportamiento del calor en un cuerpo sólido que en un gas; el primero impone más resistencia, en tanto, un gas tiene la propiedad de movilidad y su expansión facilita la liberación más rápida del calor. No obstante, la teoría del efecto invernadero tiene muchos adeptos.

En 1861, el científico Tyndall, John publicó un estudio para el desarrollo de la teoría del efecto invernadero. Donde se decía que el dióxido de carbono era esencial para el calentamiento de la atmósfera terrestre y con pequeños cambios de la

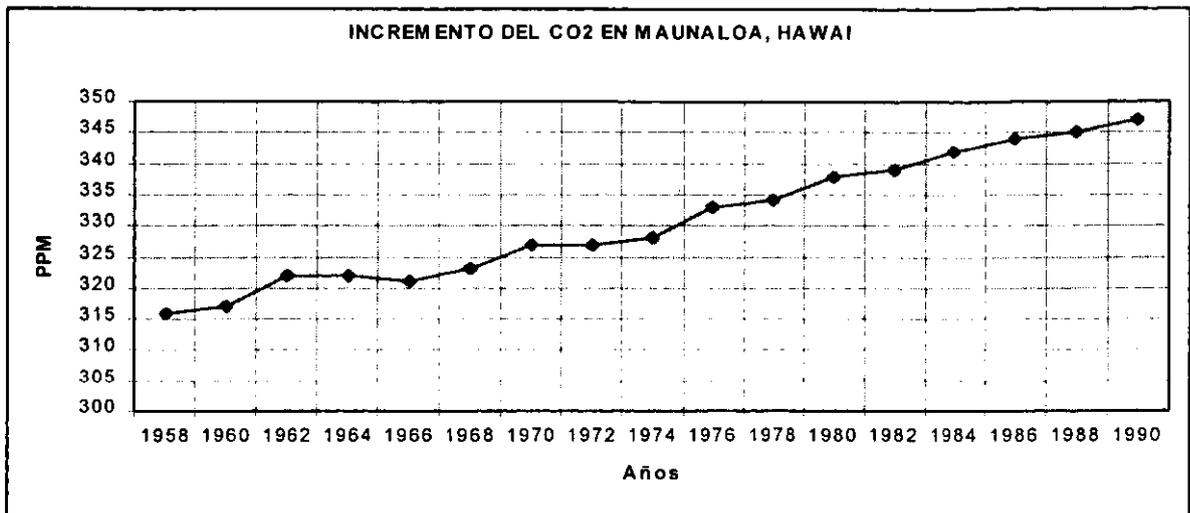
composición química del aire podrían presentarse efectos climáticos considerables. Este científico introdujo la hipótesis, basada en que las variaciones del dióxido de carbono y otros gases en la atmósfera habían provocado las fluctuaciones de temperatura a través de las eras geológicas. Dijo también que si el dióxido de carbono desapareciera de la atmósfera, la temperatura de la baja troposfera descendería hasta 21°C.

El sueco August Arrhenius, en 1903, dio definitivamente al efecto invernadero su expresión científica moderna. Afirmaba que la temperatura de la superficie de la Tierra, depende en cierto grado de la naturaleza de la atmósfera. Consideraba que el impacto de la actividad económica de la humanidad sobre el efecto invernadero era la solución técnica para evitar la próxima era glacial. No le preocupaba el incremento del efecto invernadero provocado por el ser humano; por el contrario, tenía esperanzas de enfrentar de esa manera, las bajas temperaturas de una nueva edad de hielo.

Grinevald (1992), comenta: "Arrhenius, no atribuyó al efecto invernadero ninguna connotación catastrófica para el planeta; estaba en contra de las opiniones de la doctrina de la "muerte térmica" que estaba en voga por varios científicos de la época. Pese a este punto de vista, cabe considerarlo como un pionero de la ideología tecnocrática de la gestión del medio ambiente que pretende que nos hemos convertido en pilotos de la nave espacial llamada Tierra".

En la actualidad no hay duda que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera está aumentando, debido sobre todo a la quema de combustibles fósiles. El comienzo de este aumento data probablemente de la Revolución Industrial en Europa a finales del siglo XVIII, pero no hay medidas directas en la concentración de dióxido de carbono con anterioridad a unos cien años atrás.

Los valores del incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se remontan sólo a 1957, cuando se inició un programa de control en una montaña de 3,000 metros de altitud, en Mauna Loa Hawai, a cargo de la Scripps Institution of Oceanography. Las medidas de Mauna Loa muestran un constante ascenso de la concentración de dióxido de carbono hasta hoy en día. La cantidad en 1957 fue estimada en 315 ppm; para 1990, la cifra se estima en 350 ppm. Esta tendencia ha sido medida también por meteorólogos suecos, a partir de 1963, con base en muestras de aire tomadas mediante sistemas especiales instalados en la flota de aviones comerciales. Las cifras muestran que el incremento anual es de 1 ppm. Los problemas surgen cuando se trata de seguir la pista al aumento del dióxido de carbono en épocas anteriores.



Gráfica 5.2

Fuente: Lambert, Gerard (1993).

Gribbin (1986), concluye: "de 1850 a 1950, hubo un gran aumento de dióxido de carbono, pero se intensificó éste, de 1860 a 1890. Wilson, utiliza anillos de los árboles en sus cálculos; relaciona el incremento con la explotación de las actividades agrícolas por parte de los colonizadores y con la falta de bosques en latitudes templadas que siguió a la apertura de tierras en Norteamérica, Nueva Zelanda, Australia, Sudáfrica y el este de Europa.

Gribbin (1986), dice: "si Wilson tiene razón, la biomasa contribuyó a producir un intervalo de 30 años (de 1860-1890), tanto dióxido de carbono. Ese acontecimiento pudo haber sido tan importante que dio lugar a incrementar en 0.5°C, la temperatura media mundial que sacó al planeta de la Pequeña Era Glacial, que como ya se dijo, terminó aproximadamente en 1850. Tenga o no razón Wilson, el calentamiento global por el efecto invernadero antropogénico puede ser no tan desfavorable, pues el clima actual representa una mejora para el mundo".

La opinión de Gribbin se basa en el hecho de que los pueblos europeos y de Norteamérica a través de los siglos han estado preocupados por las fluctuaciones del clima; sobre todo temen a un nuevo enfriamiento o cuando menos tratan de prevenirlo, ya que a las altas latitudes en las que viven es bastante peligroso un descenso térmico, pues su agricultura y otras actividades tendrían efectos muy perniciosos. El consumo de combustibles es muy elevado cuando los inviernos son muy crudos. Así, algunos ven con optimismo un ascenso de temperaturas, ya que en cierta forma, beneficia las actividades agrícolas y silvícolas entre otras.

Pero los gases que contribuyen al efecto invernadero son además del vapor de agua y dióxido de carbono; también: monóxido de carbono, metano, clorofluorocarburos, óxidos de nitrógeno y ozono. La combustión de carburantes fósiles, utilizados tanto por la industria como por las calefacciones urbanas y el transporte, lo mismo que la destrucción de los bosques y los cambios en las prácticas agrícolas liberan enormes cantidades de estos gases a la atmósfera.

El metano ( $\text{CH}_4$ ), es un gas de efecto invernadero que ha estado en la atmósfera desde hace mucho tiempo, y se produce básicamente por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaerobias (medio carente de oxígeno.) La función de barrera entre la materia orgánica y el oxígeno del aire la puede ejercer el agua, como son los océanos, las zonas pantanosas, los arrozales, los organismos vivos (rumiantes, insectos, etc.) o una capa residual (vertederos.) La diversidad de las fuentes todavía es mayor que en el caso del dióxido de carbono.

Lambert (1992), expresa: "a pesar de todo, todavía hay grandes incertidumbres en la producción de metano, basta, por ejemplo, modificar los abonos agrícolas o la irrigación de un arrozal para cambiar su rendimiento y, a la vez, la producción de este gas. Parece que más de la mitad de las fuentes actuales son atribuidas a las actividades humanas, principalmente agrícolas. No obstante, el metano no permanece mucho tiempo en la atmósfera, pues es absorbido por el suelo y, sobre todo oxidado en el aire. La oxidación se traduce en monóxido de carbono y luego en dióxido de carbono. Pero dada la complejidad en su producción y destrucción de este gas nadie puede afirmar sus cambios en el aire y el océano".

El óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es otro gas de efecto invernadero, su concentración atmosférica ha pasado de 285 ppm hacia 1700 a 310 ppm en 1990. Proviene del océano, el suelo, los bosques y el resto de la combustión de vegetales y de la utilización de abonos nitrogenados. En total se admiten entre 4.4 y 10.5 Mt anuales. El óxido nitroso se destruye en la estratosfera por fotodisociación, lo que da origen a nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y un átomo de oxígeno (O), capaz, a su vez, de reaccionar con  $\text{N}_2\text{O}$  para generar monóxido de nitrógeno.

El monóxido de carbono (CO), es uno de los contaminantes gaseosos más comunes y de mayor peligro. Es un gas invisible, inodoro e insípido que se forma en todas las operaciones de combustión. En las ciudades la mayor fuente es el automóvil. En la alta atmósfera, el formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), sufre una fotólisis y da origen al monóxido de carbono.

Los clorofluorocarburos (CFC) son producidos solamente por actividades industriales. Se utilizan, por ejemplo, en los refrigeradores como propulsores de los aerosoles en los cosméticos o insecticidas, y también en las espumas de extintores y de los materiales de embalaje. Tienen la propiedad de ser químicamente muy estables; sin embargo, cuando llegan a la estratosfera, por encima de la capa de ozono (lo que tarda algunos años), la radiación ultravioleta los destruye, liberando el cloro o el flúor que contenía la molécula. Este documento destruye la capa de ozono estratosférico. Por tanto, los CFC tienen una doble acción: el efecto invernadero, por su poder de absorción de los rayos infrarrojos y el deterioro de la capa de ozono.

Estos son los gases más importantes que pueden incrementar el efecto invernadero. Sin embargo, existe una gran incertidumbre en lo que se refiere a la espectroscopia (investigación de fenómenos electromagnéticos, mediante el análisis de los

espectros; en este caso, con la composición química de la atmósfera para determinar su temperatura) de los gases de efecto invernadero. Especialmente, es poco conocida la dependencia entre la intensidad de las líneas de absorción y la temperatura.

Lambert (1992), advierte: "estos gases de efecto invernadero tienen una duración de vida en la atmósfera que puede ser más o menos larga; por tanto, su impacto sobre el clima puede durar varios años, décadas o incluso siglos".

El posible impacto de las emisiones de los contaminantes en el medio ambiente y como consecuencia en los sistemas climáticos, se ha puesto en evidencia en los trabajos del Grupo Intergubernamental Sobre la Evolución del Clima, bajo el nombre de Potencial Recalentamiento Total de los gases (GWP, o Global Warning Potential).

Lambert, agrega: "los efectos de los principales gases se han calculado a partir de los GWP, pero los valores sólo son indicativos. Los autores de estos cálculos piensan incluso que es ilusorio querer atribuir un margen de errores a estos resultados. Además, el tiempo de permanencia de las trazas gaseosas no se conoce bien, y ciertamente variará con la evolución del clima. Esta situación limita la participación del GWP. Por tanto, en el momento actual (1998), no existe todavía ningún método que permita agrupar en un solo índice todas las informaciones deseadas sobre los efectos radiativos de las emisiones de los gases".

Sadourny, (1993), comenta: "antes que otros investigadores, fue el físico sueco Arrhenius, a finales del siglo pasado, ya había llamado la atención sobre las consecuencias climáticas de las actividades del hombre. Mediante un cálculo sencillo demostraba que una duplicación de la carga atmosférica de dióxido de carbono debida al aumento rápido de la industria se traduciría en un recalentamiento global de la Tierra del orden de 6°C. El resultado cuantitativo es, evidentemente discutible, pero el argumento de principio sigue teniendo una base sólida".

En la actualidad se da por seguro que la composición química de la atmósfera se ha modificado significativamente desde principios de la era industrial. Especialmente algunos gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono o el metano están presentes en concentraciones más elevadas, asimismo han hecho su aparición otros (clorofluorocarburos, óxidos de nitrógeno, ozono troposférico, vapor de agua, etc.) que también absorben la energía calorífica. Es indudable que las actividades humanas han dado origen a estas evoluciones, pero todavía es difícil evaluar con precisión, las magnitudes de emanación y destino de dichos gases. Por consiguiente, todavía no se conoce bien la evolución futura de la concentración de los gases, dado que, sin embargo, es absolutamente necesario para prevenir las eventuales discrepancias climáticas.

Hervé y Kandel (1993), comentan: "los modelizadores del clima se han contentado con estudiar el caso típico de la atmósfera en la que se habría doblado la cantidad de dióxido de carbono. Con este enfoque, el aumento de los índices de los

diferentes gases de efecto invernadero se ha asimilado a un aumento sólo del parámetro de CO<sub>2</sub>. Se trata únicamente de una aproximación, ya que no todos los gases absorben la radiación de la misma manera".

Cálculos teóricos han demostrado que cuando se llegue a la duplicación del índice de dióxido de carbono, la temperatura media mundial aumentará unos 2.0°C. Muchos de los estudios de la respuesta climática no contemplan los efectos en la circulación oceánica, los continentes y la atmósfera. Así, en la actualidad, el argumento más sólido de los investigadores del clima es el aumento de dióxido de carbono.

Como se puede apreciar en el siguiente cuadro, son el nitrógeno y el oxígeno, los principales componentes de la atmósfera. El dióxido de carbono representa una pequeña parte. Este gas es producto de desecho, junto con el vapor de agua durante la combustión. El ser humano lo desprende de su cuerpo y las plantas lo necesitan para su crecimiento.

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA

GAS	% EN VOLUMEN
Nitrógeno	78.08
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Dióxido de carbono	0.03
Neón	0.0018
Kriptón	0.0001
Helio	0.00053
Hidrógeno	0.00005
Ozono	0.000001
Xenón	0.000008

Cuadro: 5.1

Fuente: Marshall, 1985.

El Comité IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) creado por la Organización Meteorológica Mundial y por el Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA) estableció en 1990 una relación de síntesis de los resultados científicos disponibles para el efecto invernadero. Este organismo supone un control parcial del nivel de emisión de los CFC, y también de algunas políticas que permitan la disminución de los demás gases.

Casi todos los modelos predicen un recalentamiento sustancial; por ejemplo el modelo de la Meteorological Office Britanic, hace referencia a un máximo de calentamiento en las altas latitudes, mientras en las regiones tropicales la temperatura no variaría demasiado; el argumento consiste en afirmar que al desvanecerse los hielos penetrarán más los rayos solares y el albedo disminuirá

notablemente. Los modelos también predicen siempre con base en la duplicación del CO<sub>2</sub>, un aumento global de las precipitaciones y de la evaporación, que iría de 3% al 15%. Con el incremento de los gases no se sabe exactamente que pasará, pero la mayor parte de las predicciones son pesimistas.

La revista Chemical and Engineering News, el 27 de abril de 1992, citado por SEDESOL (1992), publica un estudio sobre el calentamiento global, cuyas líneas dicen lo siguiente:

"En el último siglo la Tierra se ha calentado entre 0.3 y 0.6°C, y la concentración de dióxido de carbono se ha incrementado en 25%, de 280 ppm a 356 ppm. Los años más calientes del siglo han ocurrido a partir de 1979 y son: 1980, 1981, 1983, 1987, 1988, 1989, 1990 y 1991. Parecería que no hay razón para preocuparse por un incremento pequeño de 0.5°C. Sin embargo, en los últimos 100 mil años la temperatura promedio anual no ha oscilado más de 1°C. El Consejo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas estimó el incremento de temperatura que se alcanzaría en el próximo siglo en tres escenarios, que representan condiciones demográficas, económicas y de política particulares, según la tabla siguiente:

#### PRONÓSTICOS DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA

ESCENARIO	POBLACIÓN	MILLONES	CREC. ECON.	INCREM. TEMP.
	1992	2100		
A	5,300	11,300	3.0%	3.5°C
B	5,300	11,300	2.3%	2.6°C
C	5,300	6,400	2.0%	1.8°C

Cuadro: 5.2

Fuente: Consejo Intergubernamental sobre Cambio Climático.

En el escenario C se supone que se tiene totalmente el proceso de deforestación. La población es el factor que más afecta las emisiones de gases de invernadero. Se supone que al duplicarse la producción de gases de invernadero con respecto a la actual, se incrementaría en 2.5°C la temperatura. Todos los modelos predicen que al aumentar los gases de invernadero se incrementará la temperatura, que la precipitación será más abundante, que disminuirá la superficie cubierta con hielo en el mar y con nieve en la Tierra, que disminuirá la humedad del suelo en algunas áreas, subirá el nivel del mar de 2 a 4 centímetros por década, que la temperatura aumentará más sobre los continentes que en el mar, que se enfriará la Corriente del Golfo. El defecto más grande que tienen los modelos es que ninguno permite simular el comportamiento complejo de las nubes. Pues el efecto neto de las nubes consiste en enfriar la Tierra.

Kelley (1992), citado por Schneider (1993), citado se refiere al daño provocado a la

atmósfera de la Tierra y dice: "a lo largo de los siglos, la humanidad ha mostrado una marcada indiferencia hacia la frágil atmósfera que hace viable la vida en este planeta. Antes de la Revolución Industrial esta indiferencia era explicable. Así, cuando las fábricas llenaron los pulmones de la gente de pestilencia que ponía en peligro sus vidas, la contaminación del aire se consideró un precio aceptable que había que pagar por el progreso. Por desgracia nos negamos a admitir el final de una era que comenzó hace 250 años, cuando supimos como gastar las reservas de los combustibles fósiles. Con todo esto, hay científicos que aún refutan un calentamiento gradual de la atmósfera en el próximo siglo y aconsejan a los gobiernos para que no hagan nada antes de ese cambio climático, sino que simplemente estén preparados para adaptarse a él en cuanto suceda".

También sobre el calentamiento global habla el climatólogo, Schneider, Stephen (1993), y dice: "durante las olas de calor, inundaciones, incendios y enormes huracanes, de 1988, la población de América del Norte descubrió el calentamiento global. El 23 de junio de 1988, James Hansen, director del Instituto Goddard de la NASA para estudios espaciales, dijo en Estados Unidos que el calentamiento de la década de los ochenta, había sido un récord y que en especial 1987 había sido el año más cálido de toda la historia. Y aceptó el hecho que el efecto invernadero es probablemente el causante del calentamiento".

Schneider (1993), enfatiza afirmando: "sólo las tendencias de la temperatura global a largo plazo pueden confirmar si el calentamiento debido a la acumulación de los gases de invernadero se ha detectado con una certeza estadística del 99%. Continúa: una docena de organismos sostienen un calentamiento global entre 1°C y 5°C que puede esperarse para el siglo XXI. Esta velocidad de cambio no tendría precedentes en la historia de la civilización humana y sería unas 10 veces mayor que el promedio a largo plazo de los cambios naturales del clima. Así, por ejemplo, la última glaciación terminó hace entre 15,000 y 5,000 años. Durante ese período la Tierra sólo se ha calentado hasta ahora 5°C.

Schneider, para sus reflexiones, toma una postura relativamente cómoda, hace mención de un calentamiento en los últimos años, sin considerar períodos anteriores cuando se dice también que ocurrieron años o tiempos cálidos. Al respecto, comenta Philip Douglas: "la época más cálida para el hemisferio norte fue la de 1931 a 1960, y el año más caliente fue 1949". También Schneider, al referirse al calentamiento global, poco se compromete a mencionar los nombres de científicos que afirman sus puntos de vista; del mismo modo, el rango de temperatura que maneja para el calentamiento global es uno de los más elevados.

Maunder (1990), destaca: "en la conferencia que organizó la Organización Meteorológica Mundial, sobre la evaluación del papel del dióxido de carbono y otros gases de invernadero sobre las variaciones climáticas, celebrada en Villach, Austria, del 9 al 15 de octubre de 1985, se llegó a la conclusión de que, como consecuencia de las mayores concentraciones de gases de invernadero, se cree que en la primera mitad del siglo siguiente podría suceder un incremento de la temperatura media

global mayor que ningún otro de los que han sucedido en toda la historia humana. Sin embargo, el tema es polémico; no existe ninguna razón para crear a priori que los modelos informáticos de una atmósfera con incremento de CO<sub>2</sub> representen la realidad de forma razonable. Citando a Monteith (climatólogo) dice: hasta que las predicciones a partir de los modelos climatológicos sean más fiables, me parece que tiene poco sentido crear escenarios con premisas poco seguras".

Sadourny (1993), hace una evaluación del dióxido de carbono diciendo: "la humanidad inyecta hoy en día a la atmósfera aproximadamente 7,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> durante el año. El origen de estas emisiones es, principalmente, la actividad industrial, la calefacción y los transportes; estos rubros aportan 5,500 millones de toneladas, mientras que el resto (1,500 millones de toneladas) provienen de la deforestación al quemar los bosques. De los 7,000 millones de toneladas, unas 3,400 millones de toneladas se acumula en la atmósfera. Se calcula que el océano absorbe aproximadamente 2,000 millones de toneladas; los 1,600 millones sobrantes sirven para el crecimiento de las plantas. El resultado neto de la inyección de CO<sub>2</sub> a la atmósfera representa el crecimiento que alcanza hoy el 0.5% por año".

Según la revista *Chemical and Engineering News* (21-IX-92), citado por SEDESOL (1992), publica la información siguiente: "las centrales termoeléctricas producen cerca de una tercera parte del dióxido de carbono mundial. El gas de chimenea de una planta termoeléctrica contiene aproximadamente 15% de dióxido de carbono. Pero hay cuatro maneras para utilizar este gas para que no llegue a la atmósfera: utilizarlo para aumentar la presión en los yacimientos petrolíferos, inyectarlo en el océano, depositarlo en otros mantos acuíferos o guardarlo en reservorios de gas. Los japoneses prefieren inyectarlo en el mar, los estadounidenses se inclinan por la fijación biológica. Otros países se esfuerzan en usar dicho gas en la recuperación de crudo.

Sin embargo, Sadourny proclama: "la cifra de 7,000 millones de toneladas puede parecer pequeña en comparación con los intercambios naturales que caracterizan el ciclo global del carbono: 90,000 millones de toneladas se intercambian entre la atmósfera y el océano, y 110,000 millones de toneladas entre la atmósfera y la vegetación. Lo dramático de la emisión de CO<sub>2</sub> por la humanidad es que en solo 200 años ha alcanzado la misma magnitud que su variación natural en los últimos 20,000 años, cuando se produjo la transición glacial-interglacial (del Pleistoceno al Holoceno.)

### 5.3 Dióxido de carbono, océanos y plantas

En la actualidad se reconoce el crecimiento en los niveles del dióxido de carbono desde la Revolución Industrial, pero las consecuencias climáticas por tal aumento son inciertas porque no se sabe con precisión el papel regulador de los océanos y la vegetación de dicho gas.

Se menciona que probablemente las actividades humanas han provocado a través de las últimas décadas una elevación del dióxido de carbono en la atmósfera: de 315 ppm en 1958, se ha pasado a 355 ppm en 1993. Cada año se desprenden a la atmósfera unas 6,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por intervención humana. De esta cantidad gaseosa sólo retiene la atmósfera alrededor del 50%, la otra mitad se deposita en los océanos y el suelo.

Se dice que la totalidad del CO<sub>2</sub> de la atmósfera se renueva cada 8 años por intercambio con el océano. Además el CO<sub>2</sub> disuelto en el océano está a su vez regulado por una enorme reserva de carbono; la de los sedimentos marinos ricos en carbonato de calcio. Así, a escala de tiempos geológicos es el océano el que determina la concentración del gas carbónico en la atmósfera.

Minster y Merlivat (1993), opinan: "si se aumenta el CO<sub>2</sub> en los océanos; como la fracción por actividades humanas es muy pequeña; estos mantos acuosos tienen en cuenta que hay 50 veces más carbono en el océano que en la atmósfera, se infiere que si se inyecta más CO<sub>2</sub> al aire, sólo queda una pequeña parte. En otras palabras, se puede tener la seguridad de que el CO<sub>2</sub> antropogénico terminará por ser absorbido en su mayor parte por el océano, y que la concentración en la atmósfera no aumentará a la larga más que en un 17%.

Del dióxido de carbono se desarrolla el plancton: animales y vegetales microscópicos marinos. Estos últimos fabrican su esqueleto de carbonato de calcio. El fitoplancton al llevar a cabo la fotosíntesis requiere del gas carbónico y como desecho desprende oxígeno. El resultado es una disminución de CO<sub>2</sub> disuelto en el océano. Así pues, países como Japón están fijando en el océano Pacífico CO<sub>2</sub> argumentando que los organismos marinos lo requieren para su crecimiento y desarrollo.

Gribbin (1986), agrega: "la mejor estimación de la cantidad de carbono almacenada en el océano es, en forma de restos orgánicos, el equivalente oceánico de humus, carbón, petróleo, gas natural, etc. Así, las actividades humanas no están causando cambios radicales en el medio ambiente, sino simplemente volviendo a poner en circulación una pequeña cantidad de carbono que había estado apartada temporalmente".

Los restos del CO<sub>2</sub> en Mauna Loa, revelan que la variación estacional es de 5 ppm. Esto es consecuencia del crecimiento y desarrollo de las plantas que toman CO<sub>2</sub> durante la primavera y el verano y, lo desprenden cuando caen sus hojas y entran en período de baja actividad fisiológica en otoño e invierno.

Entre 1850 y 1950, con la quema y tala de los bosques se desprendieron a la atmósfera 120 GT de CO<sub>2</sub>. Esta cifra representa el doble de la cantidad de carbono quemado en forma de combustible fósil durante el mismo período, por lo que concluye que la deforestación incrementó el CO<sub>2</sub> en la atmósfera hasta mediados del siglo XX.

Pero el futuro del  $\text{CO}_2$  no se centra en la biomasa vegetal, sino en la capacidad de absorción del océano y de las corrientes marinas para distribuirlo y almacenarlo. El problema del gas carbónico se debe a que su aumento actual en la atmósfera es rápido y probablemente el océano no logra absorberlo con el mismo ritmo. Son principalmente las corrientes marinas las que transportan el carbono disuelto en el agua y lo distribuyen por todo el océano. Pero éstas invierten centenas de años en renovarse.

Minster y Merlivat (1993), menciona: "Maier-Reiner, del Instituto Max-Planck de Hamburgo, han calculado que el océano absorbe de 800 a 2,000 millones de toneladas de  $\text{CO}_2$  de origen antrópico al año. Y se dice que si el valor es real, el océano absorbería prácticamente todo este gas antropogénico que no se encuentra en la atmósfera. Pero se advierte, que si el océano no absorbe el suficiente  $\text{CO}_2$  (pues los cálculos no son del todo exactos), se corre el peligro de que el aumento en la atmósfera perturbe el clima, lo que modificaría la temperatura y la circulación oceánica y otros fenómenos".



Figura 5.3 El océano. Los grandes mantos acuosos son los principales reservorios de dióxido de carbono. Los vientos y los ríos son los principales medios de transporte de dicho gas hacia los océanos. National Geographic, 1988.

El  $\text{CO}_2$  presente en el aire tiene una concentración de 0.03%, es la única fuente de carbono para las plantas. Los vegetales lo tienen que captar e importarlo a sus

tejidos. La materia seca vegetal posee un contenido de carbono que varía del 45 al 50%, según las especies y constituye el esqueleto de todas las sustancias orgánicas de las células. Así, la vegetación por sí misma es un depósito de carbono, de la misma importancia que la reserva atmosférica: dos mil millones de toneladas de carbono (2,000 GT), 500 GT en la biomasa y 1,500 GT en el suelo, frente a 700 mil millones toneladas (700 GT) en la atmósfera. Por tanto, el aumento de la vegetación podría reducir el nivel de CO<sub>2</sub>.

Mientras el CO<sub>2</sub> permanece en el océano por alrededor de 800 años; en la biomasa y en el suelo dura sólo 40 años. Los ritmos del intercambio de carbono entre la atmósfera y el océano, y la atmósfera y la biosfera, son cada uno del orden de 70.000 millones de toneladas al año.

La principal fuente antrópica de gas carbónico proviene del consumo de combustibles fósiles (carbón y petróleo.) Otra fuente importante de CO<sub>2</sub> se debe a la destrucción de los bosques, por quema de madera y la descomposición de la materia orgánica almacenada en el suelo (unas 1.7 GT al año.)

Las estimaciones más recientes de la FAO, cifran en alrededor de 17 millones de hectáreas de superficie de selva tropical que desaparece cada año. Según un artículo publicado en la revista *Environment Science*, hasta la fecha, se han deforestado cerca de 8.7 % de los casi 4 millones de kilómetros cuadrados de las selvas amazónicas. Durante 1991 se deforestaron 11,100 kilómetros cuadrados.

Goudriaan (1993), estima: "el aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico induce a su vez estimular la fotosíntesis, un aumento de la productividad vegetal global tan importante que la atmósfera puede absorber alrededor del 20% de la emisión total del CO<sub>2</sub> antropogénico (cálculos realizados por el grupo de R.H. Whittaker y G. M. Woodwell, E.U.A)".

La conclusión se basa en que un aumento de temperatura de unos 0.5° a 1.0° global y, a la consiguiente elevación del dióxido de carbono en la atmósfera. Se dice que esta situación ha ocurrido en la Tierra desde que terminó el último período glacial (hace unos 12,000 años) y esta tendencia podría presentarse en las próximas décadas, es decir, un fuerte crecimiento de las plantas cultivadas y en la vegetación natural.

En los invernaderos se usa la técnica de inyectar CO<sub>2</sub> para estimular el crecimiento de las plantas; así aumenta el desarrollo, el rendimiento y la calidad de los frutos. Sin embargo, se desconoce si ese efecto "fertilizante" persiste en condiciones naturales o en agriculturas poco intensivas.

Con referencia al metano, Fisher (1993), dice: "el metano comúnmente llamado gas natural existía mucho antes de que apareciesen los humanos en la Tierra. Las termitas también producen este gas. Estos insectos cobijan en su sistema digestivo una primitiva especie de bacteria que genera energía transformando carbono en

metano, que las termitas expulsan al aire. El efecto es considerable; se han medido grandes volúmenes de metano en las proximidades de los nidos de las termitas. Los humanos han contribuido a este proceso al proporcionar alimento a las termitas en forma de árboles muertos. Actualmente las termitas arrojan a la atmósfera de 75 a 200 millones de toneladas de metano cada año".

También son productores de metano, los arrozales y el metabolismo del ganado, así como depósitos de basura; pues la acción de las bacterias en los desechos orgánicos desprenden a la atmósfera grandes cantidades de metano. Según Miguel, R. Schwarzen: "los 1,300 millones de cabezas de ganado que existen en el mundo producen 156,000 millones de litros de metano diarios".

#### 5.4 Ozono y efecto invernadero

EL ozono es un gas azulado con un olor característico, es ligeramente oxidante, lo que no constituye ninguna sorpresa ya que cada molécula de este gas contiene tres átomos de oxígeno, mientras que las moléculas ordinarias de oxígeno sólo tienen dos átomos. El ozono absorbe las radiaciones situadas en la banda de longitudes de onda de 2,800 Angstroms y más cortas. Pero eso fue identificado en la atmósfera gracias a su gran capacidad de absorción de radiación solar. Esta absorción es lo que calienta la estratosfera.

En primer lugar, el oxígeno molecular se disocia en los átomos que lo componen cuando absorbe las radiaciones ultravioletas procedentes del Sol. La cantidad de energía absorbida y el número de moléculas disociadas dependen de la intensidad de la radiación (la cual aumenta con la altitud), por tal razón, el máximo efecto se produce en el nivel en el que ambos factores están compensados.

Los átomos de oxígeno libres resultantes de la disociación pueden combinarse con moléculas no disociadas formando ozono ( $O_3$ ); la formación de ozono continuará mientras existan átomos libres y moléculas de oxígeno con facultad de combinarse; esta limitación restringe la franja altitudinal dentro de la cual puede producirse el proceso que se acaba de describir. Además esta combinación parece producirse con mayor facilidad cuando hay otros tipos de moléculas alrededor, las cuales catalizan la reacción sin que ellas mismas se vean afectadas. La combinación de todos estos factores provoca una mayor concentración de ozono en las altitudes comprendidas entre los 20 y 30 kilómetros.

El mismo ozono puede absorber radiación y, de hecho, lo hace; por tanto, también se disocia dando lugar a un átomo de oxígeno libre y a una molécula diatómica por cada molécula de ozono. Todos estos procesos ocurren al mismo tiempo produciendo un equilibrio que logra que la cantidad de ozono en la estratosfera se mantenga aproximadamente constante a lo largo del tiempo, a pesar de que la formación y disociación de moléculas sea constante.

Las reacciones que se llevan a cabo con el ozono son muy complejas, es por ello que no siempre puede saberse hasta qué punto los cambios en las condiciones atmosféricas afectan a las concentraciones de este gas. Esto ha provocado una gran preocupación en torno a las alteraciones del equilibrio atmosférico natural a causa de los procesos contaminantes. Esas alteraciones provocarían la desaparición de la capa de ozono, por lo que las radiaciones nocivas alcanzarían directamente la superficie sólida de la Tierra.

Sobre los efectos que ocasionaría el deterioro de la capa de ozono se ha escrito mucho en el mundo, algunos tópicos los da a conocer SEDESOL en (1992), y dicen:

a) "Se agotará severamente la capa de ozono en regiones extensas nórdicas en la próxima década, según se desprende del informe preliminar sobre el estudio estratosférico que realiza la NASA. Se han registrado últimamente las marcas más elevadas de concentración de monóxido de cloro, el radical libre que cataliza la destrucción del ozono. Durante la expedición, los científicos observaron la activación de átomos de cloro. A mediados de enero de 1992 todo el cloro se encontraba ya activado y su concentración excedía 0.0015 ppm, la más alta jamás registrada en el Ártico o Antártico". (10-II-92.)

b) "En la primera comparación directa de irradiación por rayos ultravioleta en zonas situadas en similar latitud, se concluye que Nueva Zelanda recibe el doble de dosis que Alemania y que esta diferencia notable se debe al menor nivel estratosférico de ozono que existe sobre Nueva Zelanda y a los mayores niveles troposféricos de ozono que hay sobre Alemania". (14-IX-92.)

c) "Los niveles mayores de radiación ultravioleta que penetran a la superficie del océano, por debajo del hoyo de ozono en la Antártida, han causado daño biológico e inhibido la fotosíntesis del fitoplancton de un 6 a un 12%, según se desprende de un estudio publicado en Science en 1992". (24-II-92.)

d) "El calentamiento de la Tierra debido a la acumulación de dióxido de carbono intensificará la destrucción de la capa protectora de ozono en el Ártico. El hemisferio norte y durante el invierno, las grandes masas de tierra crean turbulencias que mantienen al Ártico más caliente que al Antártico, situación que cambiará conforme el dióxido de carbono se incremente, ya que al atrapar la radiación infrarroja que emite la Tierra, calentará las capas atmosféricas cercanas al suelo y paradójicamente enfriará la estratosfera. Cuando la concentración de CO<sub>2</sub> alcance 330 ppm, la estratosfera invernal en el Ártico será lo suficientemente fría para que se forme un hoyo en el Ártico". (23-XI-92.)

Los argumentos anteriores muestran la gravedad del daño ocasionado a la capa de ozono en diversas partes del mundo como consecuencia de las diversas actividades humanas, pero se trata en algunos casos de tan solo especulaciones y, de sitios un tanto aislados, por lo que no se puede llegar a resultados categóricos y concluyentes.

Se dice que si se destruye el equilibrio natural, el tiempo necesario para restablecerlo depende en gran medida de la altitud; en altitudes de más de 50 kilómetros, el equilibrio puede volver a lograrse en unos pocos minutos; pero en regiones situadas a menos de 30 kilómetros de altitud pueden transcurrir varios días antes de que el equilibrio se restablezca. Por ello la región inferior nunca está realmente en equilibrio, ya que la circulación meteorológica introduce continuamente perturbaciones debido a que esta región es precisamente la de mayor concentración de ozono. Se sabe que los observadores han detectado una estrecha relación entre los cambios de la circulación atmosférica y los cambios en la absorción del ozono.

Gribbin (1986), asevera: "la desaparición temporal del magnetismo terrestre podría ir acompañada por cambios de ionización de la atmósfera superior, los cuales podrían afectar a la capa de ozono vital y a la circulación atmosférica; todo ello provocaría un brusco cambio climático".

Como ya se consideró en el capítulo III, las fluctuaciones del magnetismo terrestre pueden afectar la cantidad de radiación solar hacia la superficie terrestre; pero antes esa energía intercepta la estratosfera, por lo que pudieran llevarse a cabo ciertas reacciones con el ozono y el oxígeno, lo que conlleva a una alteración de la capa de este gas.

Se sabe que las concentraciones de ozono también están afectadas por los cambios latitudinales en la intensidad de la radiación solar y por la alternancia de las estaciones; teniendo en cuenta este hecho y considerando que el ozono está producido gracias a la acción de la luz solar, no es fácil entender por qué no disminuye la concentración de ozono durante la noche.

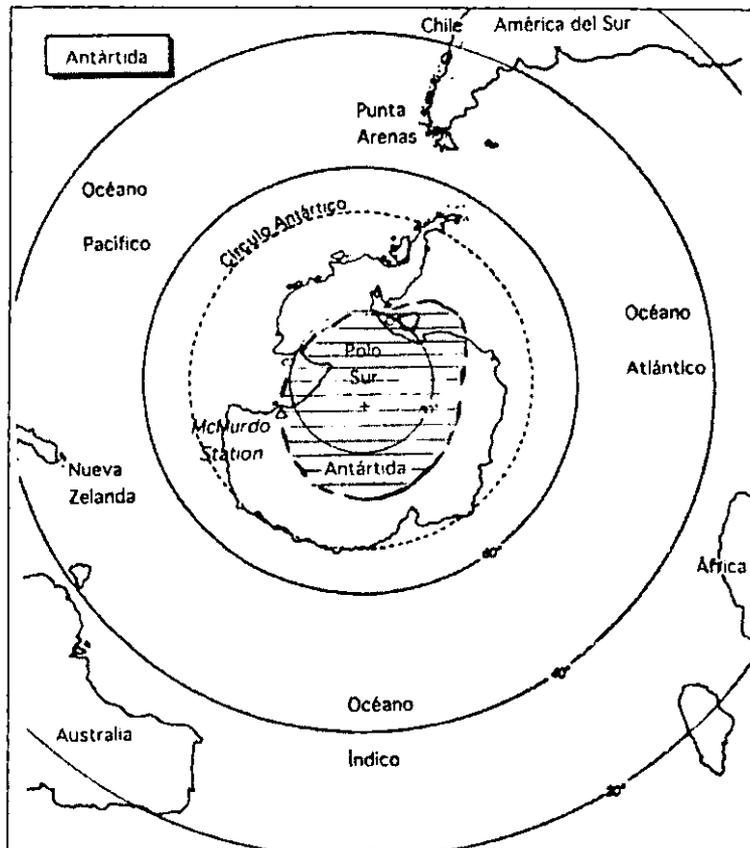


Figura 5.4 Agujero de ozono. La zona atmosférica de la Antártida ha sido la más afectada por el deterioro del ozono. Se dice que en los últimos 10 años las dimensiones han aumentado. Fisher, M. 1993.

Pero, además, la concentración absoluta de ozono tiende a aumentar ligeramente en la noche, y esta constatación revela los peligros de deducir conclusiones evidentes acerca del comportamiento de la capa. La causa de este efecto tan particular es que a altitudes de más de 40 kilómetros la fuerte radiación solar ultravioleta disocia eficazmente el ozono; por lo que cuando no hay radiación luminosa, el balance químico se desplaza hacia mayores concentraciones de este gas.

A altitudes inferiores, la concentración de ozono debería tender a disminuir cuando no hay luz solar (noche), pero en este caso, los valores permanecen casi invariables.

No hay duda de la importancia de la capa de ozono para los organismos. Las formas de vida sólo aparecieron, cuando en los océanos y después en tierra firme, la cantidad de oxígeno liberada fue suficiente como para permitir la formación de esa capa que protege a la Tierra de las radiaciones ultravioleta.

Encima de la estratosfera, entre los 50 y 80 kilómetros de altitud, hay otra capa caracterizada por sus bajas temperaturas; es la mesosfera, en cuya parte superior (entre 80 y 90 km) se alcanzan las temperaturas atmosféricas más bajas (unos -100°C). A partir de este límite, la temperatura aumenta regularmente debido a la

absorción de energía por las moléculas de oxígeno, a medida que van disociándose; pero a esta distancia la escasez de moléculas libres y la intensidad de la radiación provocan la no formación de ozono. Por el contrario, la absorción va incluso produciendo la ionización de los átomos, que, entonces sueltan uno o más electrones.

Aunque no se conocen con seguridad los efectos contaminantes provocados por los aviones supersónicos, los cohetes espaciales, etc., sobre el equilibrio del ozono, está claro que debe evitarse cualquier mecanismo que pueda alterar la capa protectora de la Tierra.

Existen también algunos equipos de trabajo que han desarrollado modelos para explicar el deterioro de la capa de ozono en las regiones polares, pero buscando un origen natural al fenómeno.

Por ejemplo, L.B. Callis y sus colaboradores del centro de investigación Langley de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) en Hampton han desarrollado un modelo fotoquímico que da prioridad a la química de los óxidos de nitrógeno en relación con la actividad solar.

Aimédiu (1993), dice: "en los períodos de fuerte actividad solar se observa una elevada producción de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ), en la mesosfera y la termosfera. Durante la noche polar, en el vórtice, el modelo fotoquímico prevé que estos óxidos se difunden progresivamente hacia la estratosfera donde forman, por recombinación un depósito de  $\text{N}_2\text{O}_5$ . De este modo, cuando el Sol sale después de la noche polar, el  $\text{N}_2\text{O}_5$  es descompuesto en  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$  que dan origen a  $\text{NO}$ ". El ozono es atacado por el proceso catalítico; el fenómeno continúa hasta principios de noviembre. Por consiguiente, el detrimento de la capa de ozono estaría asociado naturalmente a los ciclos solares, y la importante disminución actual sería una consecuencia del máximo excepcional de la década de los ochenta".

La capa de ozono en las zonas polares se comenzó a estudiar con mayor fuerza en los últimos años; en décadas anteriores a 1980 los científicos no reportaban graves peligros; así las investigaciones, se puede decir que son relativamente nuevas, por tanto, no existen pruebas suficientes para afirmar que el daño que se observa a ese nivel atmosférico, se deba a causas naturales o por la participación del ser humano.

El inglés James Lovelock, inventor de instrumentos científicos, a finales de los sesenta, desarrolló un aparato capaz de detectar los clorofluorocarburos en la estratosfera. En 1972 realizó un viaje a la Antártida, y después al polo norte, donde realizó mediciones de esos gases; encontró unas 40 partes por trillón en el hemisferio sur y entre 50 y 70 en el norte. Con estos resultados, Lovelock comenta: "cuando di a conocer estos descubrimientos en un trabajo publicado en la revista Nature en 1973, estaba preocupado por el hecho de que algún fanático utilizase estos datos como base para una historia catastrófica. Tan pronto como se asocian números a un resultado estos números parecen darle una importancia falsa". Pero

advierte: "hasta 1973 no había nada acerca de la amenaza de la capa de ozono, pero sabía que estos gases se encontraban entre los de mayor efecto invernadero potencial y que si llegaban a concentraciones de partes por billón las consecuencias climáticas de su presencia podrían ser serias".

En efecto, después de los registros atmosféricos llevados a cabo por Lovelock, surgieron varios investigadores que escribían acerca de los gases. Así, cita Lovelock lo siguiente: "el químico atmosférico Harold Johnson fue el primero en alertarnos de esta amenaza en particular. Ralph Cicerone y Richard Stolarski, advirtieron que el cloro era otro peligro para el ozono. Luego en 1974, apareció en la revista Nature un trabajo de Sherry Rowland y Mario Molina que argumentaba con gran claridad y fuerza que como consecuencia de la fotoquímica atmosférica, los clorofluorocarburos (CFC) era una fuente importante de cloro y, por tanto, una amenaza a la capa de ozono".

Sin embargo, Rowland y Molina se encargaron de estudiar las reacciones químicas entre los CFC y el ozono, llegando a la conclusión que los CFC no afectan a la troposfera pero se descompondrían en la estratosfera con el ataque de la radiación ultravioleta, liberándose átomos de cloro libres. Los átomos de cloro son muy reactivos. Molina, determinó que cada átomo de cloro libre podría combinarse con un átomo de oxígeno de una molécula de ozono ( $O_3$ ), formándose un compuesto de óxido de cloro y una molécula de oxígeno. De esta forma, el ozono se descompondría por los átomos de cloro de los CFC.

Rowland y Molina publicaron sus resultados en la revista Nature en 1974. Entre las consecuencias que puede provocar la disminución de la capa de ozono, estos investigadores escribían: " la reducción de la capa de ozono sería una perturbación en el clima de la Tierra. Debido a que el ozono calienta la estratosfera al absorber la radiación solar crea una inversión de temperatura natural sobre la troposfera que es más fría, impidiendo la circulación vertical del aire. Si la capa de ozono se debilita los patrones de circulación de la atmósfera podrían cambiar, alterando tal vez el clima del planeta de formas todavía desconocidas".

Después de estas declaraciones, surgieron grupos de investigación que por medio de ordenadores comenzaron a predecir los períodos en que la capa de ozono se iría reduciendo. El grupo de Harvard predijo que con el crecimiento actual del 10%, la estratosfera perdería un 10% de ozono para 1994 y un 40% para el año 2014. Otro equipo de la Universidad de Michigan informó que se perdería un 10% de la capa de ozono entre 1985 y 1990.

Todos estos estudios y cálculos referentes a los CFC y sus posibles consecuencias en el medio ambiente dio luz verde para que las industrias productoras de CFC comenzaran a preocuparse.

En octubre de 1974, el gobierno de Estados Unidos abordó por primera vez a nivel oficial el problema del ozono. La Academia Nacional de las Ciencias designó un

comité de cinco personas, incluyendo a Rowland para evaluar la situación. Esta organización se encargó de alertar a los científicos y a los industriales, sobre el peligro que representaban los CFC al ozono.

En una reunión organizada por los accionistas de la Du Pont que se celebró el 27 de abril de 1992, en Wilmington E.U.A.; un grupo de estudiantes de preparatoria pertenecientes al grupo ecologista Greenpace, demandaron que esta industria cesara de inmediato la fabricación de CFC por el temor de causar la formación de cataratas en ojos y cáncer en la piel, al destruir la capa protectora de ozono. Otros miembros de Greenpace vestían trajes protectores y capuchas especiales para trabajos de descontaminación en señal de protesta.

Una de las compañías acusadas fue la Du Pont, pero defendió sus productos argumentando que era imprudente dismantelar una industria que proporcionaba 200 mil empleos y generaba un negocio de 8,000 millones de dólares anuales, y esto no tenía que desaparecer simplemente por una teoría no demostrada. No obstante, después de una contienda prolongada entre proambientalistas (científicos, ecologistas, estudiantes, etc.), contra productores de CFC, en 1977, estas compañías decidieron desminuir la producción. Además ya muchos otros países se habían unido para eliminar la fabricación de los CFC y la prohibición se hizo más elocuente cuando en 1984, investigadores británicos habían descubierto en la Antártida el "agujero de ozono". Sin embargo, en casi todos los países se siguen fabricando CFC.

Sin embargo, la Du Pont desde mucho tiempo atrás ya había comenzado a estudiar los productos sustitutos de los CFC, se trata de los hidroclorofluorocarburos (HCFC) e hidrofurocarburos (HFC). Se dice que éstos se oxidan parcialmente en la troposfera, por lo que tan sólo una fracción alcanza la estratosfera. Empero, el cloro que contienen los HCFC puede catalizar la destrucción del ozono, por lo que se considera que debe limitarse su producción.

Con datos de la expedición inglesa y del Nimbus 7, pudieron llegar a ciertas conclusiones sobre el "agujero de ozono", investigadores de Alemania y Estados Unidos. Se dieron cuenta que cuando aumentaba la concentración de CFC, la cantidad de ozono disminuía, en la medición que se hacía en el mes de octubre. Los científicos explicaron que al principio del invierno, los CFC quedan atrapados en el hielo de las nubes polares, lo que provoca reacciones por catálisis.

La disociación de las moléculas de CFC en átomos de cloro libres. Los átomos de cloro pueden permanecer ligados a las partículas de hielo durante todo el largo invierno antártico. Cuando llega la primavera las temperaturas disipan las nubes, y los átomos de cloro son liberados en la estratosfera donde pueden interaccionar con el ozono.

Cuando las nubes estratosféricas polares (PSC) se forman de nuevo al final del otoño, los átomos de cloro son nuevamente capturados y el ozono se puede

recuperar por medio de las reacciones oxígeno-radiación ultravioleta.

Fisher (1993), comenta: "la razón de que el agujero apareciese solo sobre la Antártida es que es el único lugar donde las temperaturas estratosféricas disminuyen lo suficiente como para crearse nubes en la estratosfera. Los científicos piensan que las nubes estratosféricas se forman preferentemente en la Antártida debido a las bajas temperaturas. Este tipo de nubes en la actualidad se ha vuelto muy abundante por la reducción de la capa de ozono que no absorbe tanta luz ultravioleta, y por tanto, la temperatura de la estratosfera disminuye".

### 5.5 "La guerra de las industrias de clorofluorocarburos"

Con el descubrimiento del "agujero de ozono" en la Antártida en 1984, se llevó a cabo una polémica entre los que promulgaban la eliminación de los CFC y los que opinaban en una disminución gradual.

En 1981, el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) estableció un comité para redactar un acuerdo internacional para proteger la capa de ozono. Pero sólo hasta 1985, este organismo, sólo logró reunir a 20 países. En este convenio llevado a cabo en Viena, se acordó, sobre la necesidad y cooperación entre todas las naciones para salvar la capa de ozono, así como algunos mecanismos para controlar la fabricación de CFC.

En 1986 y 1987, el debate sobre todo entre Estados Unidos y Europa Occidental, era quién debería hacer los mayores recortes en el uso de los CFC, y además se planteaba sobre las cantidades que deberían reducirse.

Fisher (1993), afirma: "los Estados Unidos acusaron a Gran Bretaña y a Francia en estar más interesados en los beneficios a corto plazo que en la protección del medio ambiente. Mientras el gobierno de Estados Unidos y su industria fueron acusados de forzar la prohibición de CFC, ya que así podrían dominar el mercado de estos compuestos. Mientras tanto, los países que empezaban a desarrollar sus industrias de CFC, como la India, China y Brasil, se negaron a tomar parte en las reuniones".

Si bien es cierto que el gobierno de Estados Unidos, y otros países europeos tomaron la iniciativa para controlar la producción y las emisiones de los CFC, también es cierto que lo hicieron en un momento crucial, es decir, cuando ya sus respectivas industrias habían invertido cuantiosas sumas de dólares para menguar las cantidades de cloro en sus productos y, además para utilizar las sustancias sustitutas.

A finales de 1990, la Du Pont había gastado 240 millones de dólares en el desarrollo de los sustitutos químicos, y espera invertir, según Ficher, un total de 1000 millones de dólares para finales del siglo XX. En tanto, la compañía británica ICI, ha gastado más de 200 millones de dólares en dos plantas que producirán 100,000 toneladas

anuales de estos nuevos productos químicos en 1992.

Así, las industrias parece que han ya encontrado los nuevos sustitutos de los CFC; estos son los hidrofluorocarbonos (HFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), que son considerados poco dañinos a la capa de ozono. Su mayor reactividad resulta del hecho de que cada molécula en un compuesto HFC O HCFC tiene al menos un átomo de hidrógeno que puede ser fácilmente reemplazado por moléculas reactivas en la troposfera.

Según información de la revista Chemical and Engineering News (18-X-92) citado por SEDESOL 1992, publica lo siguiente: "los HCFC se oxidan parcialmente en la troposfera, por lo que tan sólo una fracción alcanza la estratosfera. Sin embargo, el cloro que contienen los HCFC puede catalizar la destrucción del ozono, por lo que se consideran como compuestos de transición y por ello se limitará su producción entre el 2 y el 4% del nivel de agotamiento de ozono que alcanzaron los CFC en 1989".

No obstante, existen problemas con los HFC y con los HCFC, así lo señala en 1990, Eric Banks, catedrático de química del Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Manchester, quién afirmó: "la industria va precipitadamente a la producción de estos nuevos compuestos químicos con una ignorancia casi completa sobre sus subproductos de degradación o de sus efectos en la biosfera. En otras palabras, estos compuestos químicos, puede que no dañen mucho la capa de ozono, pero pueden tener otros efectos adversos, ahora de magnitudes inimaginables".

Así, los HFC y los HCFC, a partir de 1990, han estado en estado de experimentación; se está estudiando sus efectos en el medio ambiente. Además resulta mucho más costoso producirlos. La compañía Du Pont estima que costará cerca de 400,000 millones de dólares para reemplazar a los CFC por sus compuestos afines. Como señala también Debora Mackenzie, en la revista New Scientist, en 1990: "es posible abandonar no sólo los CFC, sino también sus afines".

Por otra parte, el 2 de marzo de 1989 un grupo de encargados del medio ambiente de los países de la Comunidad Europea, acordaron unas restricciones: eliminar completamente la producción y el consumo de CFC para el año 2,000 y alcanzar una reducción del 85% lo más pronto posible. Ante esta actividad de los ministros europeos del medio ambiente; Fisher, escritor de la revista Earthwatch, comenta lo siguiente: "fue irónico que los mismos gobiernos que habían ralentizado las reducciones de los CFC en la década anterior y que habían sido señalados por Estados Unidos por su egoísmo en este sentido fuesen ahora los que mostraban mayor interés. El ministro francés Brice Lalonde dijo en la reunión: "los CFC es un problema mundial, es importante que todos los países nos sigan".

Así, mientras en Estados Unidos y Europa, se encontraron nuevos productos químicos (HFC), (HCFC), y luego se dan el lujo de prohibir sus producciones de

CFC, apenas en algunos países en vías de desarrollo han empezado a fortalecer sus industrias con esos gases, que ahora se consideran de gran peligro para el medio ambiente.

Ante la posición de los países capitalistas más ricos del mundo; el día 5 de marzo de 1989, la ex Unión Soviética, China y la India anunciaron que estaban en contra de la reducción de los CFC: argumentaron que los compuestos sustitutos de los CFC eran mucho más caros y dijeron que ellos y otros países, especialmente los del Tercer Mundo, no podrían llevar a cabo esos cambios. Incluso, representantes de la ex Unión Soviética dejaron en duda los argumentos, sobre los daños de los CFC.

Sin embargo, casi dos años antes a 1989, el 15 de septiembre de 1987 se celebró el llamado Protocolo de Montreal, donde se trató el problema de los CFC, y 43 países estuvieron de acuerdo en la disminución y cese de esos productos. Se acordó una reducción de un 20% para el 1 de enero de 1994; y una reducción del 50%, para el 1 de enero de 1999. El tratado también estipuló que los países se reunieran en forma periódica para revisar las pruebas científicas y con la intención de eliminar finalmente los productos destructores del ozono.

Los investigadores Sherwood Roland y Mario Molina de la Universidad de California fueron los primeros en asegurar al principio de la década de los setenta sobre la amenaza que representan los CFC para la capa de ozono; posteriormente se ha hablado mucho también que esos compuestos tienen gran participación en el efecto de invernadero.

La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos emitió un reporte en 1976, en el que afirmaba sobre el papel de los clorofluorocarbonos en el efecto invernadero, señalando que con un incremento de sólo un pequeño porcentaje al año podrían dar lugar a un efecto invernadero de importantes proporciones. En la actualidad se estima que los CFC contribuyen al efecto invernadero en un 40%. Además debido a que los CFC liberados desde hace algunos años, todavía están recorriendo su camino hacia la troposfera, con lo que probablemente seguirá aumentando el calentamiento global.

No obstante, la influencia que pudiera haber de los CFC y el CO<sub>2</sub> para incrementar un efecto invernadero no está demostrado; existe todavía mucha incertidumbre con sus posibles consecuencias. Al respecto, el escritor Gribbin hace el comentario siguiente: "si se dejara a los científicos a su aire, la mayoría de ellos preferirían ni siquiera discutir en público el efecto invernadero, sino trabajar tranquilamente en el fenómeno durante mucho más tiempo, antes de llegar a conclusiones definitivas. Sólo la urgente necesidad de adoptar una política a escala global les ha obligado a salir a la palestra del debate público".

En relación con los gases de efecto invernadero y el clima, Lambert (1992), opina: "hay muchas incertidumbres con el efecto invernadero. Varios fenómenos en relación con este fenómeno son muy mal conocidos; no es seguro que se hayan

identificado todos los parámetros y todas las variables útiles; algunas medidas son extraordinariamente difíciles, hasta el punto de que, en ciertos casos, la noción misma de margen de error pierde todo sentido práctico; y se está muy lejos de poseer un modelo teórico que describa completamente de un modo aproximadamente exacto la evolución del clima".

La posición de este científico es muy interesante, pues al leer en diversas fuentes de información climática se constatan grandes contradicciones entre las diversas teorías. También la manera de evaluar los distintos fenómenos que conducen a un proceso climático, cada investigador difiere, en ocasiones, bastante de otros. Así, los lectores que frecuentan temas sobre el clima se encuentran muy a menudo con frases que dicen: "podría ser", "probablemente fue o será", "parece ser que", "no es seguro que", etc. Todas estas interrogantes son el reflejo del todavía limitado conocimiento, concerniente al conjunto de parámetros que involucran los sistemas del efecto invernadero y el clima".

Existen opiniones importantes de científicos e intelectuales, entre otros, con base en la sospecha que los países más industrializados han estado promulgando la tesis del efecto invernadero para alarmar a gran parte de la población mundial y obstaculizar en cierta forma, el desarrollo industrial de los países menos desarrollados.

Thuillier (1993), comenta lo siguiente: "M.G. Menon, ex ministro de ciencia y tecnología de la India y actual presidente del Consejo Internacional de Uniones Científicas, realizó la siguiente declaración: "los países ricos del Norte no deberán utilizar el argumento técnico del efecto invernadero para imponer más o menos directamente a los países del Sur unas medidas que frenarían su desarrollo económico y la mejora de su nivel de vida".

Asimismo, Anil Agarwal, director del Centro para la Ciencia y Medio Ambiente de Nueva Delhi, en una entrevista a Science Reviews, en septiembre de 1991, aseveró: "el problema del efecto invernadero, tiene simultáneamente e inextricablemente posiciones científicas y políticas".

Garduño (1992), de sus consideraciones con respecto al estudio del efecto invernadero, concluye: "el incremento del efecto invernadero tiene muchos críticos y escépticos; la moda del calentamiento global no exenta de implicaciones políticas convenencieras. Algunos investigadores acusan a otros de pretender hacer del efecto invernadero el petate del muerto para alarmar a la opinión pública y conseguir financiamiento. Además ciertos países desarrollados tratan de culpar a los subdesarrollados por la deforestación y la sobrepoblación; la verdad es que Estados Unidos (con el 5% de la población mundial) produce el 25% del dióxido de carbono, pues, por ejemplo, un estadounidense consume 33 veces más energía que un hindú; en cambio, toda la deforestación del mundo aporta sólo el 10% del dióxido de carbono".

Históricamente los países desarrollados son los que han emitido a la atmósfera la

mayor parte de gases de efecto de invernadero , así lo han reconocido casi todos los países del mundo en los diversos eventos internacionales que tratan los problemas del clima, como han sido las conferencias llevadas a cabo en los años noventa.

En la actualidad al acentuarse el sistema capitalista en el mundo, los problemas ambientales también han aumentado vertiginosamente en las últimas décadas. Con la expansión industrial a los países en vías de desarrollo, la emisión de gases invernadero es una práctica común. La instalación de corredores industriales en esos países, se difunde en los medios oficiales que ese es el camino que deben seguir para salir de la pobreza. La mayor parte de los gobiernos y los pueblos han adoptado con entusiasmo esos esquemas promovidos por los principales bancos mundiales como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial. Con las medidas adoptadas por los países pobres se ha acrecentado el deterioro de los recursos naturales y la contaminación ambiental.

Asimismo el proceso expansivo industrial como uno de los métodos de globalización, incrementa no solamente los gases de efecto de invernadero sino también la pobreza entre la población. La extrema pobreza conduce a un abatimiento ambiental de grandes proporciones, como es la deforestación, no es sorprendente que los países del Tercer Mundo que presumen de avances en sus economías , como Brasil, Indonesia, México, Tailandia, Birmania y Colombia, presenten en la actualidad los mayores índices de deforestación en el mundo, y además, tengan problemas étnicos y sociales muy fuertes.

Una vez que los países en desarrollo se han convertido en fuentes potenciales de gases de efecto de invernadero y han contribuido a las variaciones climáticas, sus tecnologías se han vuelto obsoletas, y por tanto los gobiernos se endeudan para contrarrestar las consecuencias ambientales mediante la implementación de programas efímeros y con la adquisición de las innovaciones científicas y tecnológicas para remediar parcialmente sus problemas. Los países pobres para entrar en la "competitividad" y menguar algo de su pobreza ambiental y social solicitan préstamos elevados a los principales organismos financieros del mundo, como son el Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial y la Organización Mundial de Comercio. Estas instituciones son las que están apoyando en la actualidad, de manera financiera a la atención del Cambio Climático Global.

En relación con las nuevas tecnologías para conllevan a un aire limpio, en mayo de 1991 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), solicitó la creación del Centro Internacional de Tecnologías Ambientales (CITA), el centro fue inaugurado en octubre de 1992 en Japón y sus oficinas en Osaka y Shiga, y abrieron oficialmente en abril de 1994. El principal papel del CITA consiste en promover la aplicación de tecnologías ambientales para tratar los problemas urbanos, como las aguas residuales, la contaminación atmosférica, los desperdicios y el ruido, así como la gestión de agua dulce en los países en desarrollo y en aquellos cuya economía está en fase de transición. La estrategia del CITA se basa en el Programa 21 que surgió de la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro

en 1992. Las Naciones Unidas han fomentado este organismo porque según ésta para el año 2005 más del 50% de la población mundial será urbana.

En relación con la participación de las instituciones financieras internacionales George citado por Leggett (1996), comenta: "las corporaciones transnacionales y los bancos empuñan mucho más poder que muchos, en realidad la mayoría, de los gobiernos (países ricos), y su influencia va en aumento año tras año. Estos enormes organismos internacionales están guiados únicamente por el motivo de la ganancia. El rendimiento anual de las 200 corporaciones transnacionales más importantes se calculó en 3 billones de dólares en el año de 1984, un pleno 30% del Producto Mundial Bruto. Esto en efecto es poder".

Como se observa las corporaciones transnacionales tienen un gran poder económico a nivel mundial, el se traduce también en dominación política y tecnológica. Esos organismos han fomentado en las décadas de los setenta y ochenta el endeudamiento de los países pobres para la construcción de presas, carreteras, puertos, ciudades, aeropuertos, centros industriales, etc., con lo que se ha contribuido enormemente a los problemas del medio ambiente.

George citado por Leggett (1996) comenta con respecto a lo anterior: "las actividades que la banca comercial ha realizado en el Tercer Mundo. A lo largo de los años setenta, en particular, esos bancos realizaron grandes y, como muchos aducen, temerarios préstamos a los gobiernos del Tercer Mundo de acuerdo con el principio de que no había un riesgo real ya que "los países no dejan de existir". Desafortunadamente esos préstamos fueron dedicados a su abrumadora mayoría a financiar el consumo en curso, adquisiciones de equipo militar, y a proyectos enormes y ecológicamente destructivos, o simplemente aceleraron la fuga de capitales. Los bancos privados, con la plena y entusiasta cooperación de las agencias públicas de préstamo, los gobiernos prestatarios y los intereses comerciales de ambos lados, prepararon así el terreno para la crisis de la deuda de los años ochenta. La crisis de la deuda, a su vez, llevó a dos importantes agencias internacionales económicas y financieras: el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial. Estas dos organizaciones ejercen enorme poder sobre las economías del Tercer Mundo y en consecuencia con su medio ambiente".

El Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial en la actualidad están condicionando los préstamos a los países en desarrollo, han creado ciertas políticas para contribuir a subsanar los problemas ambientales relacionados con la emisión de gases de efecto de invernadero, la deforestación y el deterioro de los cuerpos de agua.

George citado por Leggett (1996), continúa: "varios de los proyectos del Banco Mundial han conducido a la destrucción masiva de las selvas tropicales en países tan diferentes como Brasil e Indonesia. El Banco reunió fuerzas con el gobierno militar brasileño (1980), para financiar la autopista pavimentada que permitió que miles de colonos afluyeran a la Amazonia, incrementando la penetración de la región

por compañías madereras, mineras y ganaderas, con todos los problemas adicionales que esto ha planteado en términos de la carga antropogénica de gases de invernadero en la atmósfera. Entre 1982 y 1985, la deforestación del estado brasileño de Rondonia aumento del 5% de la superficie total al 11%. Desde entonces, sondeos espaciales de la NASA informan que la zona de deforestación se ha duplicado cada dos años. En 1987 las imágenes de satélite mostraban 6,000 incendios forestales en toda la cuenca del Amazonas. En su incesante búsqueda de crecimiento económico, el Banco Mundial ha contribuido ahora lo admite a destruir las selvas tropicales que quedan en el mundo. Su nueva estrategia se denomina Plan de Acción sobre la Selva Tropical (TFAP), emprendido con la cooperación con la FAO, de las Naciones Unidas, el World Resources Institute y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). La mayoría de los organismos no gubernamentales consideran que este plan es en el mejor de los casos, una ilusión; en el peor, otro desastre ecológico en elaboración. El Banco también contrató hace poco más personal ambientalista e hizo de la sensibilidad ecológica una piedra angular de su política de relaciones públicas".

La Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente tratan de sensibilizar al mundo, sobre el aumento del "efecto invernadero", pero exagera en sus previsiones. Un ejemplo alarmista es el siguiente: para el Día Mundial del Medio Ambiente, el 5 de junio de 1989, se difundió lo siguiente: "alerta mundial; la tierra se calienta; y advirtió una elevación del nivel del mar de 1.5 metros para el año 2090.

Los argumentos anteriores son un testimonio muy importante de la participación de diversos organismos internacionales en la aceleración de los daños ambientales que se han presentado en las últimas décadas en los países en desarrollo; los problemas de deforestación ha ocurrido también en las selvas del sureste de Asia, África y América Latina. Las selvas de los Andes en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil están en un proceso de desertificación muy elevado; las áreas selváticas de Nigeria, Ghana, Tanzania y Kenia están en mismas condiciones; mientras en México, país donde las selvas se prolongaban hasta hace algunas décadas hacia la parte más septentrional en América, en la actualidad están reducidas a pequeños manchones, con lo que ha disminuido drásticamente la diversidad biológica. No es sorprendente que en los años noventa lo que queda de selva en Chiapas se encuentre con graves conflictos políticos, económicos, sociales y ambientales.

George también menciona que la revista *Ecologist* de Inglaterra es un medio que denuncia las arbitrariedades de los organismos internacionales que manipulan de manera económica, política e ideológica a los países pobres, por ejemplo dice que los bancos no reconocen que son los grandes proyectos que vislumbran la modernidad de los países los que han destruido el medio ambiente y los patrones climáticos, y culpan de la crisis a los campesinos sin tierras, los pequeños terratenientes, los migrantes mineros, los habitantes de la selva, etc., como los directos responsables.

Mediante un esquema de globalización es paradójico que los países en vías de desarrollo se les imponga medidas para controlar sus emisiones de gases de efecto de invernadero y mitigar sus impactos ambientales, tratando que adopten el desarrollo sustentable, sabiendo que el capitalismo globalizador es en esencia un desequilibrador del ámbito natural y social.

Pese a varias reacciones internacionales por la posición de los organismos financieros ante los países en desarrollo por acelerar la destrucción ecológica, no se puede culpar solamente a ellos, también están muy inmersos en el problema, los gobiernos corruptos y los pueblos con bajo nivel educativo. La deficiente educación y la falta de oportunidades de la población en los países pobres conlleva a un mayor deterioro de la naturaleza, y en ocasiones el uso irracional garantiza la supervivencia de muchos pueblos.

Como se observa, existen varias disyuntivas sobre el efecto invernadero, por lo que es importante estudiarlas con más detalle, pues sus implicaciones se han propagado por todas partes y a todos los niveles sociales; no se puede afirmar que no pasa nada con el efecto invernadero, porque puede ser que ya esté afectando al planeta y sea el responsable del calentamiento global, pero los deficientes estudios y las controversias en el tema, dificultan en ocasiones su análisis y comprensión.

Como se ha visto el efecto de invernadero es uno entre varios fenómenos que han estado participando en las variaciones climáticas en los diferentes períodos de la historia de la Tierra. En la actualidad para explicar las fluctuaciones atmosféricas de un lugar o de una región, aparte de considerar el efecto de invernadero, es importante tomar en cuenta los factores locales, regionales, mundiales y cósmicos, lo que permite abordar el principio holístico en las investigaciones geográficas.

En el siguiente apartado se exponen algunas consideraciones sobre la posición de México en algunos eventos internacionales sobre el Cambio Climático Global, así como los estudios que se han llevado a cabo en el país en relación con las cuestiones climáticas.

## 5.6 Algunas consideraciones sobre el Cambio Climático en México

Desde 1988 en que se conforma el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, uno de los objetivos de este organismo ha sido el de revisar el estado del conocimiento mundial sobre cambio climático y sus consecuencias ambientales. Del informe que realizó el PICC en 1990 resultó evidente que los efectos por variaciones climáticas podrían ser muy serias, y que entonces era importante que se tomaran las medidas para tratar de medir sus consecuencias en los diferentes países y regiones.

Después de 1988 las Naciones Unidas y otros organismos llevaron a cabo varias reuniones internacionales para tratar los problemas sobre el Cambio Climático

Global. En esos eventos México ha participado, aportando información, pero también ha asumido compromisos y responsabilidades referentes a la atención y mitigación de las emisiones de los gases de efecto de invernadero, tema que se ha convertido en el centro de atención de las discusiones mundiales en la década de los noventa.

Desde 1988, año en que se comienza a dar mayor importancia al incremento de los gases de efecto de invernadero, México participó en los eventos internacionales que trataron los problemas del clima mundial, como son: "El Cambio de la Atmósfera", celebrada en Toronto en junio de 1988, organizada por el gobierno de Canadá y con la participación de 46 países; "Declaración de La Haya", marzo de 1989, organizada por el gobierno de Holanda, con participación de 24 países y 17 jefes de estado; "Conferencia Ministerial sobre la Contaminación Atmosférica y Cambio Climático", realizada en Noordwijk en noviembre de 1989, patrocinada por el gobierno de Holanda, asistieron los secretarios del medio ambiente de 68 países; "Segunda Conferencia Climática Mundial", Ginebra, octubre de 1990, organizada por el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial, con asistencia de científicos de todo el mundo; "Hacia un Desarrollo Ambientalmente Sustentable", organizada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), con asistencia de numerosos expertos gubernamentales de América Latina, tuvo lugar en Santiago del 12 al 14 de septiembre de 1990; "Plataforma de Tlatelolco sobre Medio Ambiente y Desarrollo", organizada por la CEPAL, con sede en la Ciudad de México, del 4 al 7 de marzo de 1991, y a la que acudieron ministros y otros representantes de los países latinoamericanos.

Otros eventos que han abordado problemas del Cambio Climático, y en donde también ha participado la delegación mexicana, han sido: "La Cumbre de la Tierra", llevada a cabo en 1992 en Río de Janeiro, organizada por las Naciones Unidas, con participación de científicos y casi todos los jefes de estado del mundo, y el objetivo en relación con el clima fue: "lograr la estabilidad de las concentraciones de gases de efecto de invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático"; "Primera Conferencia de las Partes, celebrada en Berlín del 28 de marzo al 7 de abril de 1995, donde se compromete a los países desarrollados a tomar medidas para disminuir la emisión de gases de efecto de invernadero; "Segunda Conferencia de las Partes", se realiza en Ginebra, del 8 al 19 de julio de 1996, se negocia con los países participantes las políticas y el instrumento legal para la reducción de emisiones de gases en plazos concretos; "Protocolo de Kioto" (Tercera Conferencia de las Partes), llevada a cabo del 1 al 11 de diciembre de 1997, se fijan los objetivos para los países desarrollados para reducir las emisiones de gases y los mecanismos para lograrlas, 39 países desarrollados se comprometen a reducir sus emisiones en valores por abajo del 5% durante el período del año 2008 al 2012; "Cuarta Conferencia de las Partes", se realiza en Buenos Aires del 2 al 13 de noviembre de 1998, en la reunión se comprometieron 60 países a firmar los acuerdos sobre las reducciones de gases de invernadero; "Quinta Conferencia de las Partes" llevada a cabo en Bonn Alemania, en 1999, donde se sigue presionando a los gobiernos de los países desarrollados y

en vías de desarrollo a disminuir sus emisiones; “Conferencia sobre el Cambio Climático”, en La Haya, se realizó del 13 al 24 del mes de noviembre del 2000, se trataron los avances de los acuerdos anteriores sobre la disminución de los gases que provocan el Cambio Climático.

En relación con la Sexta Conferencia sobre Cambio Climático de La Haya, ésta tuvo como objetivo primordial la ratificación del Protocolo de Kioto, pues según las decisiones adoptadas en 1997, la Unión Europea debería reducir sus emisiones contaminantes en 5 y 8% con respecto a los niveles de 1990, durante el período 2008-2012. Para la ratificación de estos compromisos, es necesario la aprobación final de 55 países que a su vez representan un 55% del total de los gases emitidos.

Los mecanismos que tienen que ratificarse son los acordados en Kioto y son: el comercio de emisiones sobre los países desarrollados; el intercambio de tecnologías limpias y mecanismos de desarrollo limpio entre países industrializados y países en desarrollo. La postura de la Unión Europea y Japón fueron comprometer a todos los países europeos y los países en vías de desarrollo menguar sus emisiones de los cinco principales gases de invernadero.

Durante la Conferencia de La Haya se hizo énfasis que no se puede seguir utilizando los combustibles fósiles al mismo ritmo de consumo actual, ya que antes o después se agotarán y su uso incontrolado tendrá efectos catastróficos sobre el entorno que nos rodea. Por lo tanto, es necesario utilizar fuentes alternativas para satisfacer la cada vez más grande demanda energética, de modo que suponga el mínimo impactado sobre el medio ambiente. Para poder desarrollar políticas energéticas adecuadas, es necesario contar con toda la gama de opciones energéticas posibles.

También se acordó en el evento que cada país debe tener la libertad para elegir las fuentes que mejor considere para su abastecimiento energético, teniendo cuenta criterios económicos, tecnológicos y de medio ambiente. Se comentó que la energía nuclear es una alternativa viable a los combustibles fósiles, ya que las centrales nucleares no emiten gases contaminantes. El uranio es la materia prima del combustible nuclear, se encuentra en abundancia en varios países políticamente estables, como Canadá y Australia.

Se mencionó que la Unión Europea ya ha tomado la delantera en el control de emisiones, pues el 8 de marzo del 2000 se lanzó el Programa Europeo de Cambio Climático (ECCP), con el objetivo de reducir las emisiones de los gases de efecto de invernadero. Por otra parte, Estados Unidos no estuvo de acuerdo con la propuesta europea, pues consideró que para menguar las emisiones es mejor utilizar los sumideros de gases como son la creación de bosques y la agricultura, a su vez la Unión Europea protestó diciendo que la propuesta de Estados Unidos es una escapatoria de los compromisos asumidos en Kioto, ya que este país emite la quinta parte de los gases contaminantes a nivel mundial.

La Conferencia de La Haya, ha sido para seguir invitando y presionando a los diversos países para que disminuyan sus emisiones de gases efecto de invernadero. Situación que no todos quieren asumir momentáneamente, ya que algunos países con problemas económicos no desean someterse de inmediato. Las conferencias sobre Cambio Climático se han venido realizando desde 1995, y hasta el año 2000 ya se han llevado a cabo seis, la insistencia de la mayor parte de los países desarrollados se puede deber a que se cumplan los acuerdos de Kioto, pero también para que se pongan en operación las nuevas tecnologías en pro del medio ambiente.

Hay que destacar que la Unión Europea desde principios de los noventa propone un impuesto a los países que emiten más emisiones de gases de invernadero, para presionarlos a reducir sus tasas de producción. La propuesta fue de 10 dólares por barril para el año 2000. Pero el mercado de energía es tan grande que si se pusiera en marcha, las cantidades recabadas serían muy elevadas. La Unión Europea sostiene que con ese impuesto, Europa reduciría entre un 5 y 10% por debajo de los niveles previstos; situación que obligaría a Europa y al mundo a adquirir las nuevas tecnologías para la producción de energías.

La relación de los eventos internacionales mencionados anteriormente permite advertir el gran número de eventos que se han realizado para tratar los problemas del clima, pero también se aprecia la importancia que se le ha dado al problema del incremento de gases en el mundo, así como los compromisos que deben asumir los países desarrollados y los de proceso en desarrollo. Europa como región pionera en la emisión de gases de invernadero debe poner el ejemplo para subsanar el medio ambiente, es así como en la actualidad propone la mayor parte de políticas y estrategias para este problema.

La posición de México en las conferencias internacionales sobre Cambio Climático ha sido siempre la de cooperar en los acuerdos sobre la reducción de gases de efecto de invernadero y también se han considerado las medidas para combatir los efectos ambientales y sociales que pudieran derivarse de este fenómeno. En el Protocolo de Kioto, México sostuvo que desde el punto de vista económico y ambiental es más conveniente controlar la tasa de emisiones de gases, de manera progresiva que someterlas al futuro a un drástico régimen de reducción. La postura de México, en Río, Kioto y Buenos Aires, es que se apoya el principio de responsabilidades comunes, pero diferenciadas, tomando en cuenta que las circunstancias sociales, medioambientales, económicas, científicas y tecnológicas, son diferentes en cada país o región. En virtud de lo anterior, cada país debe mitigar sus emisiones de acuerdo a sus peculiaridades, pues la reducción de gases implica para cada gobierno, la utilización de nuevas tecnologías, otras fuentes de energía y gestionar programas para mejorar el medio ambiente.

Desde la Cumbre de la Tierra celebrada en Río, México y la mayor parte de países reconocieron que tanto históricamente como en la actualidad, la mayor parte de las emisiones de gases de efecto de invernadero del mundo han tenido su origen en los

países desarrollados. Sin embargo, la naturaleza global del Cambio Climático requiere la cooperación de todos los países, asumiendo responsabilidades comunes pero diferenciadas, y de acuerdo a sus capacidades y condiciones sociales y económicas.

En la Cumbre de la Tierra en Río, también se señaló que 35 países desarrollados son los que tienen mayor responsabilidad y capacidad de acción ante el Cambio Climático. De los países desarrollados 25 deberán prestar ayuda económica y tecnológica para enfrentar los impactos del Cambio Climático en países en desarrollo que sean parte de la Convención.

Así, las medidas de protección frente al Cambio Climático se han centrado en dos enfoques: uno de carácter preventivo orientado a la mitigación que controla y reduce la cantidad de las emisiones de gases de invernadero, y el segundo, tomar en cuenta la adaptación ante el Cambio Climático, tratando de minimizar los efectos consecuentes. La segunda postura la han adoptado sobre todo los países en vías de desarrollo.

Ante los problemas climáticos y ambientales y, las posturas que se vierten en las conferencias internacionales, México asume algunos principios que definen su política internacional en la materia, entre los que destacan:

- a) El principio de responsabilidad común, con esfuerzos diferenciados de acuerdo a las posibilidades económicas, sociales e institucionales de cada país.
- b) La corresponsabilidad y los esfuerzos específicos de los países, se enmarcan en un criterio de equidad básico, que en el caso de Cambio Climático.
- c) El principio de precaución para prever y reducir al mínimo las causas del Cambio Climático y mitigar sus efectos adversos.
- d) Las políticas y medidas para proteger el sistema climático deben estar integradas en los programas nacionales de desarrollo, para hacer compatible el desarrollo económico con los retos del Cambio Climático.
- e) Las medidas adoptadas para combatir el Cambio Climático, incluidas las unilaterales, no deben constituir un medio de discriminación arbitraria o injustificable, ni una restricción encubierta al comercio internacional.

Con base en estos principios, México asume su responsabilidad y disposición para emprender acciones de atención, mitigación y adaptación al Cambio Climático. Con la participación mexicana en los diversos foros internacionales, en el ámbito político y académico se ha trazado un objetivo general: ***consolidar en el mediano plazo un sólido conjunto de normas, políticas y programas en materia de energía, industria, recursos naturales, agricultura y ganadería, transporte y desarrollo urbano, que nos permitan controlar y reducir las tasas de crecimiento de***

***nuestras emisiones de gases de invernadero, sin por ello comprometer la capacidad de generar crecimiento económico, empleos y combatir la pobreza.***

Tomando en cuenta los acuerdos emanados de las conferencias internacionales y de los objetivos para enfrentar el Cambio Climático, las autoridades e instituciones mexicanas se dieron a la tarea de 1990 a 1996 de realizar el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Los gases que se incluyen en este inventario son: dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono. El cuadro siguiente muestra los resultados del Inventario Nacional.

**INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE MÉXICO, 1990 (Miles de toneladas)**

<b>SUMIDEROS Y FUENTES DE CO<sub>2</sub></b>	<b>DIÓXIDO DE CARBONO</b>	<b>METANO</b>	<b>DIÓXIDO DE NITRÓGENO</b>
Combustibles fósiles	311800.0	1081.3	3.9
Industria	11621.0		
Agricultura y Gan.		1793.3	5.8
Cambio de uso del suelo	135857.3	241.0	2.0
Desechos		526.0	
<b>Total</b>	<b>459278.3</b>	<b>3641.6</b>	<b>11.8</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>99.2%</b>	<b>0.79%</b>	<b>0.002%</b>

Cuadro:5.3

Fuente: Programa Nacional de Acción Climática, 1999.

De acuerdo al Inventario Nacional, en el cuadro anterior se puede apreciar que los combustibles fósiles son la fuente que emite mayor cantidad de gases a la atmósfera, le sigue el cambio de uso del suelo donde se puede inferir que el proceso es producto de la deforestación, la desertificación, el abatimiento de los cuerpos de agua y la expansión de las ciudades. En el cuadro el sector industrial aparece hasta en tercer lugar, pero es comprensible que representa una fuente de gran magnitud en la emisión de dióxido de carbono y otros gases.

Las emisiones de metano provienen básicamente de la agricultura, la ganadería, los desechos sólidos, así como los combustibles que comprenden la industria del petróleo, gas natural y carbón. El metano aunque aparece en menor cantidad que el dióxido de carbono, posee una mayor capacidad para almacenar calor en el proceso del efecto de invernadero, según información del Inventario Nacional, el potencial del calentamiento por dicho gas por cada gramo es 21 veces mayor en relación con el dióxido de carbono.

Aunque el metano en el rubro industrial no aparece en el cuadro, es un gas que se desprende también de las actividades industriales como las que producen gas doméstico, la industria del calzado y las de transformación de alimentos. En la actualidad se ha comprobado que el cultivo del arroz arroja este gas, pero en México

no es un producto que ocupe grandes extensiones.

Hay que observar que el dióxido de carbono es el gas más abundante que se desprende de las diversas actividades humanas, no solamente en México sino también todos los países. El cuadro anterior muestra el porcentaje más elevado con el 99.2%, que corresponde al dióxido de carbono, mientras el valor del metano es relativamente bajo con un porcentaje de 0.79%, en tanto el óxido de nitrógeno es insignificante con solamente el 0.002%. Pero, aunque los dos últimos valores parecen bajos tienen una fuerte influencia en el efecto de invernadero.

Enseguida se presenta otro cuadro que contiene las emisiones de dióxido de carbono a nivel nacional, así como los sectores principales que lo arrojan a la atmósfera, según la información del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero para México.

### EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN MÉXICO (1990)

SECTORES DE EMISIONES	CANTIDADES (Miles de toneladas)	PORCENTAJES
Industria de la energía (PEMEX Y CFE)	108,473.1	24
Industria de cemento y metalurgia	64,971.2	15
Transporte	94,705.6	21
Residencial y comercial	23,558.6	5
Agropecuario y pesca	5,301.9	1
Procesos industriales	11,857.3	3
Cambio de uso del suelo y silvicultura	135,857.3	31
Total	444,725.0	

Cuadro: 5.4

Fuente: Programa Nacional de Acción Climática, 1999.

El cuadro muestra que es el cambio de uso del suelo el sector que más dióxido de carbono libera al ambiente con el 31%, mientras PEMEX y la Comisión Federal de Electricidad representan el segundo lugar con el 24%, enseguida le siguen los transportes y la industria del cemento y metalurgia con 21% y 15% respectivamente, en tanto los otros sectores abarcan porcentajes mucho más bajos.

De acuerdo a información del Programa Nacional de Acción Climática, México solamente contribuye con el 1.48% del total mundial de emisiones de dióxido de carbono, clasificado en el lugar 13 entre todos los demás países, aunque sus emisiones per cápita colocan al país en el número 72.

Parte de los resultados del Estudio de País: México, publicados en el Programa

Nacional de Acción Climática (1999), explican que en caso que los niveles de dióxido de carbono se duplicarán en relación con los niveles preindustriales, entre el momento actual y el período comprendido entre los años 2025 y 2050, en un escenario normal de actividades humanas, en el territorio nacional se podrían presentar los siguientes efectos.

- a) Modificación del régimen y la distribución espacial y temporal de las lluvias.
- b) Cambios en la humedad de suelos y aire, con alteraciones de los procesos de evapotranspiración y recarga de acuíferos.
- c) Agudización de las sequías, la desertificación del territorio y la potencial modificación de la regionalización ecológica: reducción drástica de ecosistemas boscosos templados y tropicales.
- d) Mayor incidencia de incendios forestales, profundizando la deforestación, la erosión, la liberación de carbono y la pérdida de biodiversidad.
- e) Alteración de cuencas hidrográficas, así como el régimen y distribución de escurrimientos superficiales e inundaciones.
- f) Aumento del nivel de mares con impactos sobre ecosistemas costeros y marinos (manglares, humedales, zonas inundables).
- g) Cambios en el régimen de vientos, de insolación y luminosidad.
- h) En la zona norte del país, los climas áridos y semiáridos podrían aumentar su área de influencia, mientras que los fríos podrían desaparecer.
- i) En la zona centro, los climas templados húmedos y subhúmedos tenderían a desaparecer, aumentando los secos y los cálidos y apareciendo los áridos en pequeñas áreas. La sequía y la desertificación aumentarían.
- j) En la zona sur, el grado de sequía es relativamente bajo en algunos estados aunque podría aumentar un poco en algunas zonas. En agricultura, la superficie apta para el cultivo de maíz de temporal desaparecería en algunas zonas y la franja costera considerada como no apta se extendería hacia el interior.
- k) Cualquier fluctuación climática, como el fenómeno de El Niño podría provocar alteraciones del medio ambiente, y los eventos como el de 1991 y 1995 pueden deberse a la influencia del calentamiento de la Tierra.

Las aseveraciones anteriores son sólo parte de los resultados de los estudiosos del Cambio Climático en México, desde mi particular punto de vista considero que si bien esto se puede llevar a cabo en los períodos pronosticados, creo que estos argumentos se derivan de lo que se ha dicho en muchos foros internacionales en los

últimos años. También opino que más que pronósticos, los tópicos tienen más dosis de aspectos proféticos.

Continuando con las previsiones del incremento de CO<sub>2</sub>, Macera (1991), menciona: “de acuerdo a las tendencias crecientes de gases de invernadero en México, para el año 2010, las emisiones de dióxido de carbono serán del orden entre una y dos veces mayor que en la década de los noventa. El gas que más aumentará seguirá siendo el dióxido de carbono, por la todavía importante industria petrolera, la producción de energía que utiliza derivados del petróleo y carbón, entre otros”.

Como se comprende el panorama para México para los próximos años no es nada halagador, tomando en cuenta que el país seguirá creciendo mediante un esquema de globalización en casi todos los aspectos; además al entrar en negociaciones con diversos tratados económicos internacionales el uso de los recursos naturales irá en aumento y como consecuencia se agudizará el deterioro ambiental. Sin entrar en catastrofismos, el clima local y regional en México y el mundo tenderán a variar, desde mi punto de vista no tanto por gases de efecto de invernadero, sino por el cambio del uso del suelo.

Con el gran deterioro ambiental que ha estado experimentado el país, como es la emisión de los gases de efecto de invernadero, la desertificación, la deforestación, la erosión, el cambio de uso del suelo, la expansión de las ciudades, etc., México sobre todo desde la década de los noventa ha intensificado diversas acciones para atender cuestiones relacionadas con las alteraciones climáticas. Una de las actividades académicas que ha tenido mayor dinamismo es el estudio de las variaciones climáticas en algunos sitios del país, el cual tiene sus antecedentes a principios de los años setenta.

En el siglo XX, crecieron notablemente las principales ciudades de México al mismo tiempo que lo hicieron algunas otras urbes del mundo, lo que condujo al cambio del uso del suelo: la sustitución de los suelos por el cemento, el asfalto, la varilla, la piedra, etc., ha propiciado las alteraciones climáticas locales las zonas urbanas. Un ejemplo muy patente es la ciudad de México, que al comenzar el siglo XXI, representa el núcleo de mayor concentración humana a escala mundial, y está extendiéndose a los espacios rurales circunvecinos, lo mismo que está sucediendo con las otras principales ciudades como Guadalajara, Monterrey, Tijuana, Puebla, León, Toluca, etc.

Los antecedentes de la investigación en México sobre variaciones climáticas se remontan a los años setenta, cuando el Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables organizó unos seminarios en 1971 con el objeto de analizar un posible aumento de la temperatura en la Tierra como resultado del incremento del dióxido de carbono y sus impactos sobre el deshielo de los polos y la temperatura de las capas superiores del océano. También en 1971 se llevó a cabo el Seminario Internacional sobre Fluctuaciones Climáticas y su Impacto en las Actividades Humanas, auspiciado por el Consejo Mexicano de Ciencia y Tecnología, el Consejo de Ciencia

de Canadá y la Unión Geofísica Mexicana.

Los eventos organizados en México coincidieron también con los estudios que emprendieron algunos investigadores mexicanos, en las ciudades más importantes del país. El interés también se debió al crecimiento industrial y urbano que tuvo su auge internacional en la década de los sesenta y setenta en el país. Con el crecimiento urbano en México, se comenzó a experimentar una gran desertificación, es decir, la degradación de los suelos, que aunado a la deforestación y la contaminación atmosférica, se ha estado provocando la alteración de los patrones del clima. Algunos estudios llevados a cabo en las zonas urbanas del país revelan que existen ciertas fluctuaciones de los elementos climáticos en dichas áreas, como en la temperatura, la humedad y los vientos.

Jáuregui (1971), realizó un estudio del mesoclima de la ciudad de México, en donde pone de manifiesto que en esa zona, la temperatura, presión atmosférica, vientos, humedad relativa y precipitación, varían notablemente del centro a la periferia, del día a la noche y del verano al invierno. Es evidente que los fenómenos atmosféricos presentan una variación a diversas horas del día y la noche, así como entre el verano y el invierno, pero lo reportado en el estudio se infiere que los valores atmosféricos son cada vez más extremos a medida que la ciudad crece. Encontró también que las fluctuaciones de temperatura entre el centro urbano y las zonas periféricas eran hasta de 5°C; esa fue la situación que en los años setenta, posteriormente en otro estudio el autor menciona que los valores se incrementaron, pero en el principio del siglo XXI, esos parámetros deben ser mucho más elevados.

También Jáuregui (1979), realizó un estudio en 1977 para identificar la "isla de calor" en la ciudad de Toluca, y menciona lo siguiente: "con el objeto de determinar los contrastes térmicos ciudad-campo en una población de tamaño medio se realizó una campaña de mediciones psicrométricas en la ciudad de Toluca, por medio de recorridos en automóvil instrumentado. Los resultados revelan que los contrastes térmicos observados (de 5°C) están de acuerdo con la extensión urbana de la ciudad, siendo menores que los reportados por el autor, para la ciudad de México y de Puebla, ciudades de extensión mucho mayor".

En el anterior estudio el investigador también mide la humedad relativa en el centro de la ciudad y las zonas periféricas y resulta que donde se registran los valores más elevados de temperatura (centro cívico y comercial) se presentan los rubros más bajos de humedad con un valor del 65%, mientras hacia las orillas, especialmente hacia el sur la humedad aumentó hasta un 95%. La diferencia del 30% es bastante elevada, tomando en cuenta que la distancia entre los dos sitios en 1977, no es muy grande( de 3 a 5 kilómetros.)

El investigador en 1977, identifica la "isla de calor" en la ciudad de Toluca, tomando en cuenta dos estaciones clave en el estudio: una ubicada al centro de la ciudad y la otra situada en la periferia, estas fueron el Observatorio Meteorológico de la Universidad Autónoma del Estado de México y una estación meteorológica que

ubicó al oeste de la ciudad. La "isla de calor" se identificó con las temperaturas mínimas que se registran antes de que salga el Sol, y el estudio se realizó durante los doce meses del año, con lo que se llegó a los siguientes resultados.

### VARIACIONES TÉRMICAS EN TOLUCA MÉXICO

MES	OBS. UAEM (temps. mínimas)	E. M. (temps. mínimas)	DIFERENCIA
Enero	2.8	-2.0	4.8
Febrero	3.2	-2.2	5.4
Marzo	6.6	0.9	5.7
Abril	8.1	4.2	3.9
Mayo	9.6	5.6	4.0
Junio	10.2	7.0	3.2
Julio	9.9	8.8	1.1
Agosto	9.1	7.1	2.0
Septiembre	9.8	7.5	2.3
Octubre	9.1	6.0	3.1
Noviembre	6.3	3.2	4.1
Diciembre	6.0	1.7	4.3

Cuadro. 5.5

Fuente: Jáuregui Ostos (1977).

En el cuadro anterior se observa que las diferencias térmicas entre una estación climatológica y la otra, oscilaron entre 1.1° y 5.7°C, lo que indica un calentamiento muy evidente en el centro de la ciudad, mientras a unos 5 kilómetros donde se ubica la otra estación, con condiciones semirurales, los valores encontrados fueron mucho más bajos. También se aprecia que las diferencias de temperaturas a lo largo del año fueron muy diversas, presentándose las mayores fluctuaciones en los meses de invierno, con valores entre 4.0° y 5.7°C, en tanto, las diferencias menores ocurrieron en verano con registros entre 1.0° y 3.1°C, este comportamiento se debe a la cantidad de humedad que se presenta en el ambiente entre ambas estaciones del año.

Borja y Meza (1980), realizaron un estudio sobre los cambios climáticos en el área de Torreón Coahuila. Analizan algunos elementos climáticos como la temperatura y la precipitación medias anuales de esa zona. En el estudio se elaboran termogramas para mostrar el comportamiento de los elementos atmosféricos, y después deducen que de acuerdo a la tendencia general propiciada por la circulación de los vientos, el área tiende a ser cada vez más fría en la estación invernal. Mencionan que según Jáuregui, la temperatura descendió más de 1°C, como promedio en los últimos 30 años.

En relación con la precipitación, expresan: "existe un alto grado de aridez en el área, lo cual de acuerdo con la tendencia de largo período en el clima del norte de México, seguirá por lo menos, durante los próximos 50 años; así, se deberá aceptar

una reducción drástica y progresiva de las lluvias tanto en cantidad como en frecuencia. Por lo anterior, el medio natural sufrirá cambios graduales en un ajuste de adaptabilidad a situaciones de extrema aridez. Tal condición deberá ser tomada en cuenta por los sistemas productivos en el área, ya que se presentarán problemas agudos de déficit de agua; por lo que se tendrán que adoptar medidas preventivas en el uso de la misma, a fin de garantizar un ajuste progresivo de reducción en los volúmenes de extracción de los acuíferos, así como iniciar acciones que permitan la captación y conducción de agua desde fuentes lejanas y, también, las que permiten su reutilización”.

Como se observa los investigadores llegan a conclusiones muy evidentes sobre los graves problemas que se presentan en las áreas áridas como es el caso del área de Torreón, donde la precipitación media anual fluctúa entre 100 y 200 mm. Otro factor es que la variabilidad de la precipitación, año con año es muy elevada, es decir, hay años con sólo 50 mm, mientras otros rebasan los 200 mm. El problema de agua es más alarmante en las zonas semisecas y secas de México, como consecuencia del aumento de la población y el incremento de las actividades económicas. Ante el déficit hídrico natural y el desequilibrio que ha estado propiciando el ser humano, deben estar presentándose variaciones atmosféricas de manera apreciable.

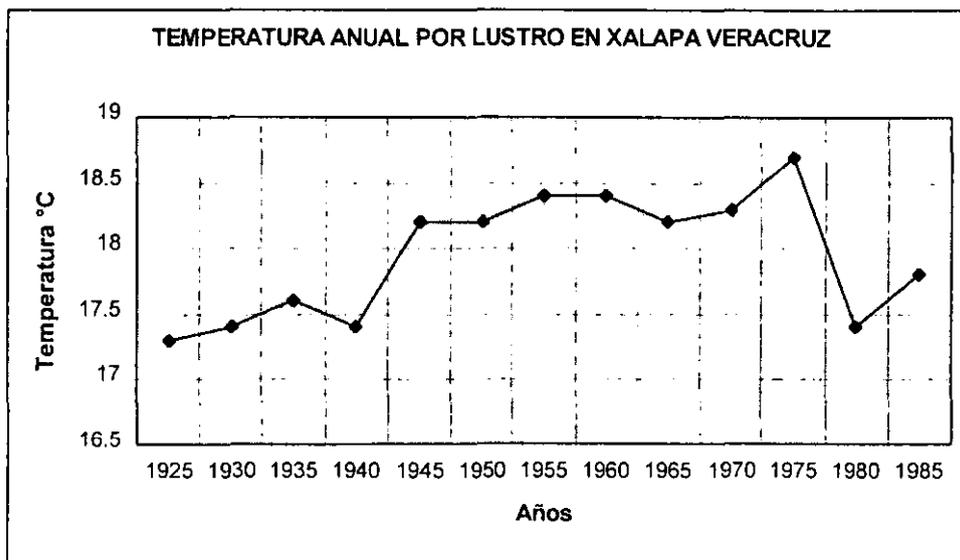
Posteriormente Bustos (1981), estudia las tendencias climáticas en tres centros urbanos de la República Mexicana: México, D.F., Guadalajara y Monterrey. La investigación se basó en observar el comportamiento de los elementos climáticos a través del tiempo en estas áreas urbanas, encontrando que los parámetros climáticos sufren variaciones importantes: pues algunos se incrementan, mientras que otros disminuyen. Estas anomalías son atribuidas a la acelerada construcción de dichos centros urbanos.

En el trabajo anterior, el autor concluye diciendo: “el hecho de que por una parte las ciudades de México y Guadalajara, y por otra la ciudad de Monterrey se encuentren en zonas climáticas distintas, hace que las características climáticas sean más parecidas entre las dos primeras. Monterrey presenta características distintas por encontrarse en una zona seca, la precipitación es menor así como más extremas las temperaturas, aunque por los resultados obtenidos, se puede afirmar que la influencia que ejercen las ciudades en los elementos del clima y en éste es inminente, puesto que en las tres ciudades estudiadas se notan en general cambios en los parámetros climáticos. Los aspectos más importantes del crecimiento de las zonas urbanas que afectan las condiciones ambientales son la extensión de la mancha de concreto, el incremento de vehículos y establecimientos industriales”.

Este autor también hace recomendaciones al final del trabajo, mencionando que de no planificar adecuadamente las ciudades aumentarán los problemas ambientales y humanos. El hecho de estudiar tres ciudades resultó muy objetivo, ya que se pudieron comparar los resultados de las principales ciudades del país.

Tejeda y Acevedo (1989), realizan una investigación sobre clima urbano en la ciudad

de Xalapa, Veracruz. El estudio tuvo el propósito de encontrar alteraciones climáticas por el crecimiento acelerado de la urbanización de Xalapa. Los autores mencionan que se tomaron mediciones simultáneas de lluvia y temperaturas extremas en diversos puntos de la ciudad durante ocho meses. Los resultados revelaron la existencia de una "isla de calor". Ésta se confirmó al comparar los datos de la ciudad de Xalapa y la localidad rural Las Vigas. También se tomaron en cuenta los datos de temperatura anual de 1920 a 1988 para mostrar la tendencia en ese período.



Gráfica: 5.3

Fuente: IV Congreso Nacional de Meteorología, 1989.

En la gráfica se puede apreciar que la temperatura media de las décadas de 1925 a 1945 mostraron un ascenso moderado, pero a partir de 1950 es cuando el incremento es mucho más evidente. El investigador Tejeda, con estos datos comprueba que en la ciudad de Xalapa se ha estado presentado una variación térmica y climática en ese espacio urbano.

En los resultados encontraron que la intensidad máxima de la "isla de calor", entendida como la diferencia máxima de temperaturas entre el centro urbano y los alrededores rurales, resultó ser de aproximadamente 7°C. Mientras la gráfica muestra un aumento de temperatura en las últimas décadas, sobre todo, a partir de los sesenta. A pesar que la diferencia térmica es acentuada, los investigadores consideran que los valores no son más elevados ya que la ciudad está rodeada de vegetación abundante.

Múzquiz y Antaramián (1990), llevaron a cabo un trabajo sobre la modificación del clima urbano en la ciudad de Morelia, Michoacán, y analizaron la tendencia de algunos elementos climáticos de 1887 a 1987; de los 100 años de estudio pudieron

identificar las fluctuaciones atmosféricas en ese espacio urbano, y encuentran lo siguiente: "el análisis de número de días con precipitación, muestra que éstos han disminuido de tal forma que podemos afirmar que la precipitación ha aumentado en intensidad ya que se recibe una mayor cantidad de lluvia en menor número de días. Cabe mencionar que 1969 fue el año más seco con 507 mm y el menor valor de humedad relativa con 54.2%".

Del análisis que realizaron los investigadores, mencionan que las décadas más cálidas fueron 1941-1950 con 17.9°C y 1961-1970 con 18°C. La década más fría fue la de 1971-1980 con 17.1°C. Sin embargo, el análisis de regresión marca una tendencia hacia el aumento de temperatura, y los valores de correlación muestra que está correlacionada con el número de días con granizo e inversamente correlacionada con los valores de precipitación anual e insolación. La temperatura máxima absoluta también ha aumentado, presentando un valor máximo de 37.5°C en 1983 y un mínimo de 26.8°C en 1920. Como puede observarse tanto la precipitación como la temperatura suelen alterarse en los espacios urbanos, cabe resaltar que el año más caluroso de 1983, coincide con otras zonas de México y el mundo, hay que tener presente que ese año fue de máxima actividad solar.

Morales (1993), estudia el comportamiento térmico entre el centro de la ciudad de Toluca y sus áreas periféricas, teniendo como objetivo encontrar la "isla de calor", mediante termómetros colocados en diversos sitios de la zona urbana. Al final del trabajo se encontraron los siguientes resultados: Las variaciones térmicas entre el centro y los lugares adyacentes fueron de 1.0 a 2.5°C, situación que pudo explicarse tomando en cuenta las diferencias que existen entre el piso de concreto y las superficies con suelo y vegetación, entre una distancia de aproximadamente 5 kilómetros. En el estudio también se encontró que las basculaciones térmicas entre los lugares de altitud similar fueron muy reducidas.

A continuación se muestran las diferencias de temperatura que ocurrieron de las 11:45 a las 13:30 horas del día 9 de junio de 1993, en que se llevó a cabo las mediciones térmicas.

### DIFERENCIAS TÉRMICAS (°C) EN LA CIUDAD DE TOLUCA

EST.	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30
Palacio	20.1	20.2	21.2	21.5	21.6	22.5	23.7	24.2
Procurad.	20.0	20.1	21.0	21.2	21.5	22.0	22.2	22.4
Ojuelos	19.9	20.1	20.3	21.0	21.1	21.7	21.8	21.8
Reforma	20.0	20.2	20.9	21.2	21.8	22.4	22.5	22.8
F. Geog.	18.1	18.2	18.4	18.8	19.0	19.5	20.1	20.5

Cuadro: 5.6

Fuente: IX Simposio mexicano-polaco, 1993.

Al observar los datos del cuadro anterior se aprecia que los valores registrados en

la explanada de Palacio de Gobierno son más elevados en relación con los de Ojuelos(periferia), así se nota que en este último lugar fue en promedio 0.3°C más bajo que en Palacio. Lo anterior ocurrió de las 11:45 a las 12:45 horas, pero después de esta hora la variación fue de 1.4°C, y la diferencia a las 13:30 fue de 2.0°C. Los resultados indican que las diferencias térmicas más acentuadas entre los dos sitios son más intensas en el momento que normalmente ocurren las temperaturas más elevadas durante el día. Las diferencias térmicas entre el centro de la ciudad y las zonas adyacentes son muy similares con lo que ocurrió en las anteriores, sólo que la magnitud es diferente, ya que los demás lugares están más cerca en relación con el centro urbano.

La conclusión final del anterior estudio fue que las diferencias térmicas en la ciudad de Toluca y las áreas aledañas, están estrechamente relacionadas con: la altitud de cada sitio, tipo de materiales con que están construidas las zonas urbanas y rurales, así como también de la hora del día en que se realice el estudio, la cantidad de vegetación existente, la distribución de los mantos de agua, el efecto de solana y umbría y la situación de concavidad del terreno.

El estudio tiene un carácter local, pues sólo refleja un espacio relativamente pequeño; sin embargo, se encontraron diferencias térmicas menos reducidas (1° a 2.5°C), en comparación con los estudios realizados por Jáuregui en la misma ciudad, donde encontró diferencias de hasta 5°C. En 1977, siendo entonces la ciudad más pequeña. No obstante, es importante continuar con el estudio para cotejar con mayores elementos de juicio.

Otro investigador que ha estudiado los tópicos concernientes al Cambio Climático Global, es el geógrafo Juan Carlos Gómez Rojas, quien en 1994, recopila algunos lineamientos sobre el tema, y expone: "según los investigadores Jones y Wigley, la Tierra está experimentando un sobrecalentamiento de 0.5°C, desde finales del siglo XIX, y las tendencias en el Cambio Climático varían en diferentes regiones de la superficie terrestre, el mayor aumento ha llegado a ser de 2°C en las regiones del noroeste del Canadá, Siberia Central y las costas del Perú (seguramente por la corriente del El Niño), de 1.5°C frente a la península de Baja California, hacia el Sudán, entre Australia y Madagascar y un corredor de Siberia hacia el polo norte: 1°C alrededor de la zona interior, en gran parte del Pacífico norte, entre las Antillas y las Azores(hacia el ecuador térmico), el Golfo Pérsico, el Mar Rojo y sur de la península Arábiga (en zona marítima), el sur del Indico hacia la Antártida en el Atlántico sur, tanto frente a Uruguay y Argentina y centro de Brasil, como hacia las costas de Sudáfrica. Un aumento de 0.5°C se presenta en extensas áreas como Canadá, costa oeste de los Estados Unidos, zona de los Apalaches, Altiplanicie Mexicana, Groelandia y Atlántico norte (de Labrador hacia Europa cubriendo la península escandinava, este y sur de Italia, mar Adriático, Yugoslavia los Balcanes y parte del Cáucaso, Afganistán, centro de la Antártida, porciones hacia el sur de África y noroeste y sureste de Australia. El resto del mundo presenta más bien disminuciones que llegan hasta los menos 2°C. De acuerdo a los mismos autores muy posiblemente el 50% de las alteraciones térmicas se deban a causas humanas

y el resto a causas naturales”.

El investigador Gómez destaca las variaciones atmosféricas que reportan las bases de datos que se utilizaron para llevar a cabo este estudio cubriendo prácticamente todo el mundo. La información recabada es muy interesante como también lo es el interés que se tiene en México y el mundo por conocer las alteraciones atmosféricas que podrían coadyuvar a planificar las actividades humanas. Es importante destacar también de la cita anterior, que para cualquier interpretación climática, hay que tomar en cuenta tanto factores naturales como de origen humano.

Mendoza y Villanueva (1994), investigadores del Centro de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, desarrollan un escenario de Cambio Climático para explorar el impacto sobre las zonas hidrológicas de México debido al calentamiento global por un incremento del dióxido de carbono en la atmósfera. Usaron el modelo termodinámico del clima de Adem (MTCA), junto con aquellos generados por modelos de circulación general (MCG) y los datos climáticos de México, para crear un escenario de Cambio Climático regional.

Los investigadores para este estudio mencionan: “pretendemos aplicar la ecuación de balance de energía térmica a la capa superficial continental de México, usando el calentamiento atmosférico debido a un incremento de dióxido de carbono como forzamiento para generar en detalle los cambios en la temperatura superficial del continente, la evaporación, el calor sensible, la radiación neta, así como otras variables climáticas en superficie”.

El modelo aplicado por los investigadores anteriores, ha sido aplicado en otros países y esto representa un problema cuando se desea utilizarlo en México, ya que las características atmosféricas y geográficas son muy diferentes, así que los resultados obtenidos pudieran estar lejos de la realidad, pues también las escalas que toman los modelos en ocasiones son muy amplias y los datos introducidos son escasos.

Sin embargo, es pertinente reconocer que desde los años setenta, el Instituto de Geofísica de UNAM ha realizado trabajos para pronosticar el clima, mientras el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, creado en 1977 ha realizado trabajos para pronosticar los procesos atmosféricos. En 1991 se desarrollaron proyectos de investigación en colaboración con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, sobre la política energética en México y la estimación de emisiones de gases de efecto de invernadero.

En 1994 se inicia el proyecto denominado “Estudio de País: México”, con apoyo del gobierno de Estados Unidos, el cual comprende inventarios de emisiones antropogénicas por fuentes de gases de efecto de invernadero, escenarios de emisiones futuras, estudios climáticos locales regionales y mundiales. Las instituciones que intervienen en este proyecto son: el Centro de Ciencias de la Atmósfera, el Programa Universitario de Energía, el Instituto de Ingeniería, el

Instituto de Geografía, el Centro de Ecología, el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Como se aprecia son varias las instituciones que han estado participando en el posible Cambio Climático en México, y parte de los resultados de los estudios realizados han servido en los últimos años para las políticas del gobierno, para la postura del país en los diversos eventos internacionales así como para su difusión a la sociedad. Como parte de este tipo de los trabajos realizados, una de las investigaciones es una como la que se menciona enseguida.

Magaña (1994), realiza un estudio con el propósito de identificar los problemas que se derivan de los modelos que predicen las variaciones climáticas como consecuencia de un incremento de dióxido de carbono en la atmósfera. Menciona que los Modelos de Circulación General (GCM), son la mayor fuente de información para estudiar el Cambio Climático Global, sin embargo, existen serios problemas si esta información es interpolada para determinar el cambio climático regional y local. Así, literalmente dice: "el Modelo Geofísico de Fluido Dinámico en Laboratorio (GFDL) y el Modelo del Centro Climático Canadiense (CCCM), el primero predice un aumento de las precipitaciones en la República Mexicana, tomando en cuenta la variable de las nubes cúmulos, mientras el segundo pronostica un decremento, considerando otras escalas en los procesos". El investigador menciona que hay que tener cuidado al interpretar los resultados de los modelos, y aclara que las contradicciones suceden porque se toman variables muy generales con escalas espaciales globales, por lo que recomienda llevar a cabo estudios regionales y locales en la predicción del clima, y propone dos caminos para trabajar con escalas regionales: uno, utilizando un modelo estadístico (recabando datos de patrones de circulación atmosférica a gran escala) y el uso de un modelo dinámico (simulando la circulación atmosférica regional), para apegarse más a la realidad.

Las investigaciones a través de modelos, como la anterior, se han estado llevando a cabo en México, sobre todo a partir de los años noventa, período en que se dispone de los equipos de trabajo con la capacidad para concentrar suficiente información, realizar análisis y llevar a cabo pronósticos sobre los cambios posibles por calentamiento del planeta. Los estudios tienen poco tiempo, pero esperamos que muy pronto pudieran revelar comportamientos y tendencias atmosféricas como consecuencia de los impactos ambientales.

En la actualidad se le ha dado mucha importancia a los estudios de emisiones de gases de efecto de invernadero, muchos a través de modelos, pero lo que realmente está provocando las alteraciones atmosféricas según algunos investigadores es el cambio de uso del suelo.

En relación con los problemas de efecto invernadero, Jáuregui (1994), menciona: "el efecto invernadero en México y el mundo, sólo aporta una quinta parte del posible calentamiento global, mientras que las otras cuatro quintas partes lo aportan los

materiales con que están construidas las ciudades. El cemento, el asfalto, la varilla, la piedra, el factor de las celdas de edificios, etc., son materiales que absorben mucho calor durante el día y lo pueden mantener por la noche, lo que provoca en los centros urbanos las llamadas "islas de calor". Así, el calentamiento por materiales urbanos, representa el mayor aporte al calentamiento de la Tierra".

El autor anterior también menciona que en la ciudad de México en el período de 1896 a 1985, la intensidad media de la "isla de calor" subió de 1.5° a unos 10°C, es decir, el crecimiento anual fue de 0.017°C. Concluye diciendo que si la población urbana aumenta, la intensidad del calor urbano se incrementará y consecuentemente ese aumento se sumará al asignado por efecto invernadero.

En México se ha dado prioridad a los estudios climáticos que están más relacionados con los espacios urbanos, y en éstos se ha comprobado que al cambiar su uso del suelo, también se alteran los patrones climáticos. Este tipo de estudios se ha llevado a cabo en Europa y Estados Unidos desde la mitad del siglo XX, y los resultados han sido similares a los hallados en las zonas urbanas de México. Pero en la década de los noventa en que se le ha dado atención a los estudios climáticos nacionales, también algunos investigadores han abordado las causas y los efectos del fenómeno atmosférico El Niño.

Como se ha visto en el capítulo III, el fenómeno atmosférico El Niño es otro de los eventos que han tenido relevancia en las últimas décadas en las costas de Perú, Ecuador y norte de Chile, así como sus consecuencias en diversas regiones del mundo. En México se comienzan a estudiar sus posibles relaciones con algunos fenómenos climáticos; y este acontecimiento algunos investigadores lo han relacionado con el Cambio Climático Global.

Tiscareño (1998), junto con otros investigadores han estudiado el fenómeno atmosférico El Niño y sus efectos en la agricultura mexicana, y exponen "las señales de El Niño son siempre muy bien definidas, particularmente en el continente americano, pero son más fuertes en México, Centro y Suramérica durante el invierno, que a lo largo del verano; sus efectos fueron inconfundibles entre 1982 y 1983. El sur de Estados Unidos desde California hasta Florida, y porciones del norte de México experimentaron temperaturas más altas de lo normal, cuando fuertes tormentas se abatieron sobre las costas de California. Las condiciones de sequía prevalecientes del verano y el otoño, redujeron los rendimientos de cultivos (1982) y el suministro de agua en los pastizales del norte de México, ocasionando elevada mortandad en el ganado. Asimismo, en la región norte-centro del país se perdió más del 97% de los cultivos de temporal. Nuevamente en 1987,... las condiciones de sequía que prevalecieron en el norte y centro de México ocasionaron pérdidas totales en el 80% de los cultivos de temporal, y además se identificó que la recarga pluvial de las presas del noreste del país se redujo en más del 50%".

A continuación se muestran algunas situaciones meteorológicas en algunas regiones del mundo cuando se intensifica el fenómeno El Niño.

## REGIONES MÁS AFECTADAS POR EL NIÑO

REGIONES	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS
Oeste de Estados Unidos de América	Lluvias
Este de Estados Unidos de América	Lluvias
México, Centro América y el Caribe	Sequías
Norte de Suramérica	Sequías
Centro del Pacífico Sur	Huracanes
Costas de Perú, Ecuador y Chile	Lluvias
África (Sahel) y sur	Sequías
Sureste de Asia y Australia	Sequías

Cuadro: 5.7

Fuente: Ciencia y Desarrollo, No. 139. 1998.

Con base en el estudio anterior se aprecia que cuando se presenta El Niño de manera extraordinaria, en gran parte de la República Mexicana se intensifica la deficiencia de lluvias, como ocurrió también en el verano de 1997, año en que se retrasaron las lluvias. Con el estudio más pormenorizado de este fenómeno es probable que en las próximas décadas se puedan pronosticar los periodos secos y húmedos en la República Mexicana, así como en otras regiones del mundo. Hay que recordar que los eventos del El Niño han ocurrido siempre a lo largo de la historia de la humanidad, así como también se han presentado fuertes sequías a lo largo de los siglos. En la actualidad los efectos del fenómeno parecen más catastróficos como consecuencia del posible Cambio Climático por procesos antrópicos, pero también hay que tomar en cuenta los factores naturales. No obstante, los estudios que se están realizando en México sobre variaciones climáticas son muy halagadores ya que a mayor cantidad y calidad de éstos, en el futuro se podrán dilucidar mejor las interacciones del clima y el medio ambiente.

También es oportuno mencionar que en atención a los problemas derivados del posible Cambio Climático, en abril de 1997 se estableció en México el Comité Intersecretarial para el Cambio Climático, bajo la coordinación de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP.) En este Comité están representadas además las Secretarías de Energía (SE), Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Agricultura y Desarrollo Rural (SAGAR), Comunicaciones y Transportes (SCT), Relaciones Exteriores (SRE), y Desarrollo Social (SEDESOL).

Desde entonces el Comité acuerda las posiciones de México ante los foros internacionales que abordan el tema de Cambio Climático, y se proponen objetivos y estrategias para la mitigación de gases de efecto de invernadero en el país.

En la década de los noventa los estudios sobre el clima se han orientado a identificar el posible Cambio Climático tomando como base las emisiones de gases de efecto de invernadero, tal como ha sucedido en muchos países del mundo, y a este aspecto se le ha atribuido el calentamiento que están experimentando algunos

lugares del mundo, como son las zonas urbanas, pero como se ha visto las "islas térmicas" obedecen primordialmente a factores diferentes al calentamiento ambiental por gases.

Los problemas ambientales se han intensificado en las últimas décadas en México y en el mundo como consecuencia en gran parte del proceso de globalización internacional, en virtud de lo cual se han realizado varios eventos para tratar parte de los problemas derivados. De esas reuniones, las autoridades mexicanas han emprendido algunas medidas como las que ya se mencionaron, y además se ha elaborado el documento denominado Programa Nacional de Acción Climática, donde las autoridades y el pueblo de México deben emprender diversas acciones para mitigar o remediar los problemas ambientales, también se ha conformado el Comité Intersecretarial para el Cambio Climático. La iniciativa es necesaria y adecuada, pero esperamos que lo plasmado en un documento, tenga repercusiones inmediatas en la práctica.

México ha ingresado a los principales bloques económicos del mundo, desde principios de los años noventa, como el Tratado de Libre Comercio con América del Norte, también es miembro de los países que integran el bloque económico de la Cuenca del Pacífico, en la actualidad tiene esta tendencia con la Unión Europea, así como ligas con los países de Centro América y Sudamérica. La situación económica de México en un mundo globalizado permite aseverar que sus recursos naturales cada vez serán más deteriorados y por tanto, los patrones atmosféricos serán alterados con mayor magnitud y frecuencia.

Los estudios en México sobre variaciones y cambios del clima, son todavía relativamente modestos y se han centrado en áreas específicas del país, como han sido las grandes ciudades, por lo que falta emprender más y mejores investigaciones en espacios a diferentes escalas, también con información más confiable, con modelos más apegados a la realidad del país, con infraestructura adecuada y con mayor preparación por parte de los investigadores.

## CONCLUSIONES

- En la investigación se identificaron y ordenaron las principales teorías que conducen a los cambios y variaciones climáticas. Se consideraron las terrestres, las cósmicas y las de origen antrópico. Se ordenaron tomando en cuenta su posible mayor participación en los acontecimientos climáticos.
- Casi en todos los períodos de la historia de la Tierra la variación climática se ha manifestado con diferente intensidad, frecuencia y magnitud. Los valores térmicos medios entre una época glacial y otra interglacial, han oscilado entre 1°C y 8°C.
- Las variaciones climáticas obedecen a la interacción de fenómenos terrestres (naturales y con interacción humana) y extraterrestres. Situación que no ha obstaculizado el desarrollo de muchas especies (vegetales y animales), por ejemplo, las gimnospermas, los helechos, las tortugas, las cucarachas, etc., que datan desde el Paleozoico y Mesozoico. Sin embargo, en los últimos 200 años la influencia de las actividades humanas puede estar contribuyendo en estas fluctuaciones.
- Los cambios y/o variaciones del clima no afectan de igual manera a toda la superficie terrestre. El comportamiento atmosférico depende en gran medida de la conformación de los factores y elementos de cada lugar o región del planeta. Por ejemplo, se consideran zonas muy propensas a la oscilación, a todas aquellas que poseen temperaturas medias mensuales inferiores a 10°C, porque a pocos grados puede llevarse a cabo la condensación del agua y la sublimación del vapor.
- Las condiciones atmosféricas varían desde algunos segundos hasta miles o millones de años. Ejemplo, en pocos minutos, una turbonada puede cambiar el tiempo, mientras en centenas o miles de años, el cambio se puede deber a una posición diferente de la Tierra en relación con el Sol.
- El 90% de tiempo del último millón de años ha estado sometido a los períodos glaciales y sólo el 10% a un tiempo más cálido. En la actualidad se vive en un período cálido pero, de acuerdo a las teorías astronómicas, se irá transformando paulatinamente a eventos fríos, por lo que el clima que ahora se considera normal no lo será en el futuro.
- La variabilidad es la característica más constante del tiempo atmosférico y el clima; cualidad que predomina, tanto a través del tiempo, como en el espacio geográfico. Las fluctuaciones están sujetas a períodos irregulares y más o menos cíclicos, que al manifestarse conllevan a condiciones atmosféricas muy complejas, por lo que en ocasiones es muy difícil identificar los factores o fenómenos involucrados en dichos eventos.
- Dentro de un período glacial se presentan pequeños lapsos (de uno o varios años)

de clima más cálido, asimismo, en los tiempos interglaciales, se han registrado eventos con temperaturas más bajas, por lo que se infiere que un período no es estrictamente cálido o frío, sino que existen casi siempre lapsos meteorológicos perturbadores.

- Los períodos geológicos pueden definirse desde un punto de vista climático, tomando en cuenta que sus inicios y sus finales están representados por una variación o cambio en los sistemas climáticos, como fueron las glaciaciones y los episodios interglaciales.
- La alternancia de los diferentes acontecimientos climáticos en las eras y períodos contribuyeron a la creación, distribución y extinción de muchos organismos vegetales y animales, así como a modificaciones en el sistema tierra-océano-atmósfera, razón por la que el proceso climático representa un factor importante en la evolución de la Tierra.
- En la gama de factores físicos que conducen a las fluctuaciones climáticas está la actividad solar, pues es la fuente de energía más relevante que da dinamismo al tiempo atmosférico y al clima, y ésta fluctúa en el transcurso de horas, días, meses, años, lustros, décadas, etc., razón, por lo que se deduce que es la causa más importante que provoca las variaciones climáticas en la Tierra, a corto y mediano plazos.
- La actividad solar ha estado definiendo las condiciones climáticas en gran medida en el planeta en los últimos siglos, por ejemplo, el período Subboreal, el clima de la Edad Media, la Pequeña Edad Glacial, y el clima hasta nuestros días es consecuencia principal de este fenómeno.
- La posición astronómica del Sol en relación con la Tierra, así como la oscilación solar, define el tiempo atmosférico durante el día y la noche, a largo de las estaciones del año, delimitan zonas climáticas por latitud y altitud, permiten áreas de solana y umbría, y también alteran las condiciones atmosféricas en los días cercanos a los equinoccios, los solsticios, los perihelios y los afelios. Tomando en cuenta lo anterior, de todos es sabido que el Sol es la fuente de energía más importante que conforma el tiempo atmosférico y el clima en nuestro planeta.
- Las teorías astronómicas (inclinación del eje terrestre y la excentricidad de la órbita de la Tierra), motivan cambios climáticos que abarcan miles de años. La variación climática se puede intensificar cuando actúan simultáneamente dichos fenómenos.
- La teoría astronómica: "la variación de la excentricidad de la órbita de la Tierra", puede ser la que imprima mayor participación en las basculaciones del clima; pues las diferentes posiciones de la Tierra con relación al Sol, implican mayor o menor radiación hacia ésta. Si a ello se suma la actividad solar y el comportamiento magnético de la Tierra, los efectos pueden intensificarse o

anularse, haciendo fluctuar los sistemas atmosféricos.

- El estudio exhaustivo de las teorías astronómicas coadyuvará a predecir los acontecimientos climáticos de manera más aproximada, ya que éstas cumplen ciclos a lo largo del tiempo.
- La deriva de los continentes trae como consecuencia cambios climáticos a muy largo plazo, pues se trata de varios millones de años. Ejemplo, algunas regiones del mundo como la Antártida, la India, etc., tuvieron climas más cálidos, ya que hace millones de años se encontraban en latitudes menores.
- En la actualidad se cree que sólo el polvo volcánico (y otros) que llega a la estratosfera es el causante de un enfriamiento. Sin embargo, en los últimos años, con las erupciones de los volcanes Santa Elena (1980), el Chichón (1982), El Nevado del Ruiz (1986), El Pinatubo (1991), El Popocatepetl, (intensidad elevada a partir de 1994), etc., aparentemente no se han registrado descensos térmicos en algunas regiones de la Tierra. Un caso muy comentado fue la espectacular erupción de El Chichón, con lo que se esperaba un enfriamiento, efecto que no ocurrió en los años posteriores; por lo que todavía se desconocen los mecanismos de dicho fenómeno.
- En relación con el "efecto de invernadero, las explicaciones que dan muchos estudiosos con respecto al calentamiento de la atmósfera de la Tierra; lo comparan con un cristal de vidrio (con lo que han realizado el ensayo), pero esta materia es un sólido, el que no puede compararse tácitamente con el comportamiento de un gas. El techo de un invernadero común impide la circulación vertical del aire entre el interior y el exterior, dificultando la convección, mientras que en la atmósfera libre el calor no puede quedar tan fácilmente atrapado por los gases, pues éstos se dilatan, se expanden, se elevan y, por ahí, se pierde el calor de las partes inferiores.
- Desde 1958, se ha estado midiendo el dióxido de carbono en la cima del volcán hawaiano Mauna Loa. Se ha visto que las cantidades han aumentado de 313 a 352 ppm. Este dato lo han tomado algunos investigadores para suponer una mayor intensidad del "efecto invernadero" en la actualidad. Sin embargo, con las mediciones del CO<sub>2</sub> de prácticamente una estación, no se puede generalizar el aumento para todo el mundo; además, Mauna Loa es un área volcánica y esto puede afectar las mediciones.
- No se puede negar que después de la Revolución Industrial se han incrementado notablemente los gases en todo el mundo; no obstante, el vapor de agua es el principal responsable del "efecto invernadero", pues este gas tiene el doble de eficacia en dicho fenómeno. Además las fuentes de vapor de agua son muchísimo más grandes que las de dióxido de carbono.
- A través de la historia de la humanidad han existido muchas personas que tratan

de pronosticar los patrones climáticos; tomando en cuenta el dióxido de carbono, algunos lo han hecho mesuradamente, y se han equivocado menos; pero muchos otros cubren las premoniciones de innumerables catástrofes (exceso en sequías, diluvios, inundaciones, heladas, nevadas, etc..) La posición fatídica de estos últimos los convierte en seudoprofetos, por lo que sus argumentos resultan ser poco confiables. Por desgracia ese tipo de ideas son muy aceptadas en la sociedad.

- De manera general se admite que una elevación de la temperatura en el planeta conduce a aumentar el número de precipitaciones, sobre todo en las zonas cálidas; pero esta afirmación parece una paradoja, pues debe pensarse que la mayor evaporación produce mayor nubosidad e incrementa la expansión de las caídas de nieve; con estas últimas afirmaciones, se produciría mas bien un enfriamiento. Esta situación ha sido un problema para los pronosticadores del clima.
- Otros aspectos atmosféricos en los que hasta ahora no han podido ponerse de acuerdo los científicos, y que parecen contradictorios son: 1) Todavía no se ha comprendido el comportamiento físico del océano; 2) Un enfriamiento puede ocasionar una mayor cubierta de hielo en el océano, lo que puede aparentar un océano más frío, pero, dicha cubierta impide la pérdida de calor del manto acuoso; 3) Las lluvias mojan y enfrían las áreas continentales, así el albedo disminuye, por lo que dichas superficies pueden elevar su temperatura al absorber más radiación; 4) Con el aumento de temperatura global se dice que los glaciares se funden, pero también podrían aumentar las precipitaciones y, con ello, aumentar las capas de hielo; 5) El aumento de temperatura conduce a mayor evapotranspiración, pero este fenómeno implica un enfriamiento en el océano y el ambiente; 6) Un aumento de temperatura puede provocar mayor nubosidad, pero ésta puede traducirse en mayor enfriamiento; 7) La mayor temperatura puede originar incremento en las precipitaciones, pero también un enfriamiento y mayor humedad las ocasiona (ejemplo las lluvias abundantes en invierno); 8) No siempre la mayor nubosidad induce a mayores precipitaciones, ya que no toda el agua condensada se precipita, de hecho, termina de llover y aún sigue nublado; 9) En la actualidad no se sabe con certeza si un enfriamiento o un aumento de temperatura aumenta o disminuye la nubosidad; 10) Las erupciones volcánicas pueden provocar un enfriamiento, pero también el dióxido de carbono que liberan puede incrementar la temperatura por el "efecto invernadero".
- De acuerdo a los tópicos anteriores, los modelos que tratan de predecir los acontecimientos climáticos se encuentran con todas esas incertidumbres, pues muchos de ellos pueden tener los inconvenientes siguientes: a) Falta del conocimiento de las leyes físicas del sistema tierra-océano-atmósfera; b) No se incluyen todos los parámetros climáticos; c) No contemplan todo el planeta; d) Son matemáticamente muy complejos; e) Cada pronosticador suele discrepar demasiado en sus resultados. No obstante, es importante reconocer, que muchos pronosticadores a través de sus modelos del clima realizan esfuerzos para tratar

- de esclarecer las complejas interacciones de éste en nuestro planeta.
- El conocimiento del clima pasado, conlleva a predecir el clima futuro. Sin embargo, no se conocen suficientemente los fenómenos del cambio climático, los patrones del clima pasado no son regulares para revelar lo que vendrá después y los efectos de los fenómenos atmosféricos en el medio ambiente son inciertos. Sólo con el conocimiento exhaustivo de todas las posibles causas climáticas probablemente en el futuro los pronósticos serán más acertados.
- Con el conocimiento más pormenorizado de los factores climáticos: geográficos, terrestres, cósmicos y antrópicos probablemente en el futuro puedan hallarse las interconexiones entre todos ellos, y de esta manera conocer mejor el comportamiento de los fenómenos atmosféricos.
- Algunos previsores del clima pronostican casi siempre en plazos de 25, 50, 100 ó más años; así, conscientes de sus limitaciones, resalta lo siguiente: 1) El pronóstico tendrá efecto cuando ellos ya no existan en este mundo; 2) Casi siempre aseveran cifras exageradas en la variación de los fenómenos; 3) Casi nunca dejan entre dicho lo que sucederá, siempre afirman; 4) Culpan con frecuencia a ciertos grupos de personas o a ciertos países sobre las anomalías climáticas y, 5) Sus pronósticos presentan grandes dosis catastróficas.
- En la actualidad es muy frecuente encontrar en varios medios de información noticias climáticas alarmistas. Ahora se utilizan las noticias de desastres naturales para hablar de las consecuencias (casi siempre nefastas) del "efecto invernadero". Con esto se induce a la sociedad a consumir informaciones poco científicas y, además, mediante ese sensacionalismo se propicia un ambiente de preocupación y de incertidumbre.
- Para ciertas industrias como la Du Pont (productora de las nuevas sustancias llamadas hidroclorofluorocarbonos) es muy importante sustituir sus antiguos productos, convertir en consumidores a los propietarios de otras industrias del mundo (productores de mercancías con base en clorofluorocarbonos) con las nuevas sustancias y, así, garantizar su vanguardia comercial.
- Las burguesías internacionales han tomado como bandera el Calentamiento Global, para implementar políticas para tratar de frenar el crecimiento de la población, sobre todo de los países en vías de desarrollo. En la actualidad la Tierra tiene alrededor de 5,400 millones de habitantes, y para ciertos organismos (como la ONU) ya es demasiado. Pero un estudio llevado a cabo en la Academia de Ciencias de Rusia, revela que aprovechando óptimamente los recursos de la Tierra y mar se puede alimentar adecuadamente a 100,000 millones de personas. Por lo que se infiere que, en la actualidad, los recursos naturales están mal planificados y bastante mal repartidos entre la población.
- Durante la última Gran Edad de Hielo (Pleistoceno) apareció el ser humano en la Tierra, entonces la temperatura media global era de unos 3°C a 5°C más baja que

en la actualidad, pese a esas condiciones, la humanidad llevó a cabo su adaptación ambiental. El ingenio del ser humano permitirá siempre sobreponerse ante las adversidades atmosféricas, siempre y cuando éstas no sean muy drásticas.

- Es incuestionable que las fluctuaciones climáticas negativas para los organismos disminuyen la producción de alimentos para la humanidad; pero gracias a las nuevas tecnologías se han podido realizar actividades para su beneficio (mejora de semillas, fertilización de los suelos, climas artificiales, etc.) Así, cuando en el futuro se conozcan y se puedan prevenir mejor las condiciones climáticas, se podrán planificar adecuadamente las actividades humanas para afrontar dichos eventos.
- El sistema tierra-océano-atmósfera ha presentado a lo largo de la historia de nuestro planeta un equilibrio térmico y climático, la temperatura media de 15°C a 1.5 metros sobre el suelo no ha variado mucho en los últimos mil años. Por ejemplo; en el balance de radiación solar es absorbida por los continentes y por la atmósfera el 64% de energía electromagnética. Esta energía es distribuida en el planeta por los vientos, las masas de aire, las corrientes marinas, etc., y una vez que cumple su función es liberada hacia el espacio, manteniendo un estado homeostático.
- Es importante destacar que algunas actividades humanas, como la expansión de las ciudades, la deforestación y la contaminación del aire, están provocando alteraciones atmosféricas locales, sobre todo en los espacios urbanos, lo que está contribuyendo al calentamiento ambiental. Estas prácticas conducen más a una elevación de la temperatura que los gases de emisión en la Tierra.
- Los problemas del clima tenderán a incrementarse como consecuencia del sistema político y económico en que esta inmersa la sociedad. El capitalismo en su esquema expansivo en el mundo, tiene como objetivo la extracción de mayores recursos naturales sobre todo en los países en vías de desarrollo. El mundo globalizado está conduciendo a la creación de mayores problemas ambientales y sociales en diversas regiones. La deforestación se ha acentuado en los países pobres, situación que en gran medida han apoyado los organismos financieros internacionales mediante los préstamos económicos para la implementación de varios proyectos que han provocado gran impacto ambiental en esas regiones.
- Las variaciones climáticas que se están presentando primordialmente en zonas urbanas y en espacios deforestados, pueden moderarse sus manifestaciones extremas, mediante un programa planificado de forestación y reforestación que tienen que acordar las autoridades y la sociedad en las escalas local, regional, nacional y mundial. Se propone la vegetación ya que este factor en las áreas continentales es el que mejor regula los climas locales y regionales y representan sumideros de dióxido de carbono. La adopción tiene que hacerse mediante una selección que se adapte a las condiciones edáficas, climáticas y culturales del

espacio geográfico correspondiente.

- El agua es el elemento moderador más importante del clima, por lo que es necesario conservar los cuerpos de agua como son los ríos, lagos, presas, arroyos, etc. Las autoridades, las universidades y la sociedad, deben entrar en los planes. Se tiene que fomentar más la educación ambiental en las escuelas y se tiene que abatir la pobreza. Una sociedad instruida y atendida en sus necesidades básicas de bienestar es una sociedad sensible a la naturaleza, crítica y reflexiva ante los problemas ambientales.
- Las ciudades deben remodelarse y planificarse tomando en cuenta la geografía y las condiciones atmosféricas del espacio. Por ejemplo, conociendo la dirección y velocidad de los vientos se pueden orientar las calles, avenidas, edificios, etc. Esto de debe realizar con el objeto de permitir la ventilación adecuada. También las casas y los edificios deberán aprovechar la radiación solar para su funcionamiento energético.
- Para convertir la energía eléctrica de la energía solar, las células fotovoltaicas constituyen la tecnología más prometedora para las necesidades de las actividades humanas. Sobre todo, si se sabe que son capaces de funcionar bajo la acción de una radiación solar indirecta (filtrada a través de las nubes.) La energía solar es la más grande reserva para la humanidad.
- La biomasa es otra fuente energía que debe comenzar a utilizarse con mayor proporción, está disponible en diferentes formas: la basura, los residuos agrícolas y las plantaciones forestales. En Brasil ya se obtiene alcohol por fermentación para uso energético en vehículos. De la basura se obtiene gas para las actividades domésticas. También la energía eólica y geotérmica son también otra alternativa para menguar los niveles actuales de emisiones de gases de efecto de invernadero.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable que el presente trabajo pudiera aumentar la calidad y la cantidad en cada variable que se toma en cuenta, ya que todos los tópicos y factores están tratados de manera general, pues solo se destaca su integración dentro del sistema atmosférico que contribuye a las variaciones climáticas.
- La investigación puede ser complementada con trabajos que consideren modelos climáticos computarizados, para realizar comparaciones entre lo teórico y lo práctico, y así llegar probablemente a mayor aproximación en resultados de las variaciones climáticas en cualquier lugar del planeta.
- La investigación también puede llevarse a cabo en una región determinada de México o abarcar todo el país, con lo que se contribuiría a explicar y comprender la evolución climática de nuestro territorio, de manera mucho más amplia.
- El trabajo, una vez publicado como libro, puede ser difundido en los organismos de educación media superior y superior para que sirva como apoyo en la formación académica de los estudiantes. Puede ser útil a los estudiosos de las ciencias que tratan el medio ambiente, pero sobre todo a los geógrafos.
- La investigación debe divulgarse en eventos académicos donde la discusión sirva para mejorar lo realizado. La presentación puede llevarse a cabo en foros, mesas redondas, congresos, conferencias, seminarios, etc.
- Es importante también que el documento al publicarse llegue a instituciones gubernamentales, privadas y al público en general para que contribuya a comprender que en un cambio o variación del clima interviene un conjunto de fenómenos en los diversos eventos, y que es necesario tomar en cuenta para prevenir y atender los riesgos relacionados de un evento climático.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIMEDIEU, Patrick. (1993). "Agujeros de ozono polar". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. IX. No. 38. pp. 164-168.
- ALBORES ZÁRATE, Silvia. (1995). *Tules y sirenas. Impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma*. Toluca: El Colegio Mexiquense.
- ÁLVAREZ ESPERANZA, Vicente. (1992). *Meteorología*. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco. México: Chapingo.
- ARBOLÍ, M. (1988). "Teorías sobre la desaparición de los Dinosaurios". *Investigación, Ciencia y Tecnología (ICYT)*. Vol. 10. No. 138.. México, D.F. pp. 19-20.
- ARNTZ, E., WOLF. y Fahrbach. (1996). *El Niño: Experimento climático de la naturaleza*. México: F.C.E.
- ASIMOV, Isaac. (1989). *El libro de las citas sobre la ciencia y naturaleza*. México: Lasser Press Mexicana.
- ATTENBOROUGH, David. (1985). *El planeta viviente*. Barcelona: Salvat.
- AYALA, J. Francisco. (1987). *La naturaleza inacabada*. Barcelona: Salvat.
- BARRY, R.G., y R.J.Chorley. (1977). *Atmosphere, Weather and Climate*. London: Methuen and Co Ltd.
- BISWA, K. (1984). *Climate and Development*. Dublin: International Publishing.
- BRAVO, Silvia. (1988). "La pequeña era glacial y el mínimo de Maunder" . *Información Científica y Tecnológica*. México, D.F. Vol. 10. No. 141. pp. 36-38.
- BREVER, George. (1987). *El aire en peligro*. Barcelona: Salvat.
- BREVER, George. (1983). *La modificación del tiempo*. Madrid: Alhambra.
- BROWN J., and C.G.A. (1983). *Biogeography*. St. Luis Missouri: The C.V. Mosby Company.
- BRYSON, A., y MURRAY, J. (1985). *El clima y la historia*.. México: EDAMEX.
- BURROUGHS, J.W. (1991). *Watching the world's weather*. New York: Cambridge University Press.
- BUSTOS TREJO, Gerardo. (1981). *Tendencias climáticas en tres centros urbanos de*

la República Mexicana. *Anuario de Geografía*. México: Facultad de Filosofía y Letras. U.N.A.M. pp. 223- 287.

CERVANTES BORJA, Jorge y Meza Sánchez, Magdalena. (1980). Cambios climáticos y desequilibrio en la función geosistémica en el área de Torreón, México. *Anuario de Geografía*. México: Facultad de Filosofía y Letras. U.N.A.M. pp. 230-245.

CESARMAN, Fernando. (1986). *Crónicas Ecológicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

CLARKE, R. (1987). *The greonhouse*. Nairobi: UNEP/GEMS Environment Library. No. 1..

CLOUDSLEY, Thompson. (1987). *El hombre y la biología de las zonas áridas*. Barcelona: B.D.C.

COMISIÓN DEL PLAN NACIONAL HIDRÁULICO. (1980). *Análisis histórico de las sequías en México*. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

COMPENDIO DE APUNTES PARA LA FORMACIÓN DEL PERSONAL METEOROLÓGICO DE LA CLASE III. (1980). *Climatología*. México: Organización Meteorológica Mundial.

CONRAD, J. (1975). *Tifón..* México: Pepsa.

CROWLEY, T., y G.R.N. (1988). *Abrupt Climate Change and Extinction Events in Earth History*. New York: Science. Vol 240.

COURTIN, Regis. "El efecto invernadero en el sistema solar". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 648-655.

DE ALEMANY, Catala J. (1986). *Diccionario de Meteorología*. Madrid: Alhambra.

DESBOYS, Michael. (1984). 1983 Año de las Anomalías Climáticas. *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. IV. No 33. pp. 184-186.

DOMÍNGUEZ, Antonio. (1974). *Cordilleras, terremotos y volcanes*. Barcelona: Salvat.

DROSSART, Pierre. "Las auroras polares de Júpiter". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 123. pp. 354-355.

DUMBAR, Carl O. (1980). *Geología Histórica*. México: CECSA.

DUNLOP, S.y Wilson, F. (1987). *Como predecir el tiempo*. Barcelona: CEAC.

DURAND-DASTES, Francois. (1982). *Geografía de los Aires*. Barcelona: Ariel.

- DYROO, Linuma. (1993). *El Clima en la historia*. México: El Colegio de México.
- EICHENBERG, W. (1987). *Meteorología para aviadores*. Caracas: Paraninfo.
- ERICKSON, Jon. (1992). *El efecto de invernadero*. México: Mc Graw-Hill.
- ERICKSON, Jon. (1992). *Las edades de hielo*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- ERICKSON, Jon.(1991). *Las Tormentas*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- FERMI, M. (1992). *Contaminación en México*. México: Libra.
- FERNÁNDEZ EDITORES, S.A. Clásicos de la Literatura. (1980). *La Eneida*. México.
- FISHER, Marshal. (1993). *La capa de ozono*. México: Mc Graw-Hill.
- FLOHN, H. (1970). *Clima y Tiempo*. Madrid: Guadarrama.
- FUENTES AGUILAR, Luis. (1990). *Climatología médica*. México: EDAMEX.
- GARCÍA DE MIRANDA, Enriqueta. (1967). *Apuntes de climatología*. México: Instituto de Geografía. UNAM.
- GARDUÑO, René. (1994). *El veleidoso clima*. México: Fondo de Cultura Económica.
- GAY de Maupassant. (1978). *Las primeras nieves*. México: Editores Mexicanos Unidos.
- GILLET, P. El agua del manto terrestre. *Mundo Científico*. Barcelona. Vol 13. No. 138. pp. 708-717.
- GÓMEZ ROJAS, Juan Carlos. (1994). Cambio Climático Global. *Revista Geoboletín de la Facultad de Geografía, U.A.E.M., México*. No. 14.
- GÓMEZ ROJAS, Juan Carlos. (1989). "¿Mal clima o mal tiempo?" Periódico El Universal. 5 de octubre. México, D.F.
- GÓMEZ ROJAS, Juan Carlos. (1985). *Primer Reunión Nacional de Agroclimatología*. Memoria. Colegio de Geografía. México: U.N.A.M.
- GOURDRIAAN, Jan. (1993). "El papel de la vegetación". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 687-692.
- GRIBBIN, John. (1986). *La Tierra en movimiento*. Barcelona: Salvat.
- GRIBBIN, John. (1986). *El clima futuro*. Barcelona: Salvat.

- GRIFFITHS, John. (1985). *Climatología Aplicada*. México: Publicaciones Cultural.
- GRINEVALD, Jacques. (1992). "De Carnot a Gaia: historia del efecto invernadero". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 626-631.
- HENDERSON-SELLERS y Mcguffiek. (1990). *Introducción a los modelos climáticos*. Barcelona: Omega.
- HENTSCHEL Ariza, Edma. (1986). *La geografía de la vida*. México: SEP.
- HERVÉ, Le Trent. y KANDEL, Robert. "¿Qué nos enseñan los modelos climáticos?". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 664-673.
- HOLMES, C., David. (1966). *La atmósfera, mar sin playas*. México: Limusa.
- HOMERO . *La Iliada*. México: Editores Mexicanos Unidos.
- HONGHTON, John. (1985). *The Global Climate*. Great Britain: Cambridge University Press.
- HUGO, Victor. *Los miserables*. México: Editorial Porrúa.
- IBARRA, V. et. al. (1986). *La ciudad y el medio ambiente en América Latina*. México: Colegio de México.
- INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL CONGRESS 27. (1992). Washington D.C: *Technical Program Abstracts*.
- JACKSON. I.J.I. (1989). *Climate, water and agriculture*. New York: Longmat Scientific and Technical.
- JÁUREGUI OSTOS, Ernesto E. (1979). "Isla de calor en Toluca". *Boletín del Instituto de Geografía*. México: U.N.A.M. pp. 27-37.
- JÁUREGUI OSTOS,. Ernesto (1993). "La contaminación atmosférica". *Ciencia y Desarrollo*. México, D.F. Vol. XIX. No. 109. pp. 25-31.
- JÁUREGUI OSTOS, Ernesto E. (1989). "Los Huracanes en México". *Información, Ciencia y Tecnología (ICYT)*. México, D.F. Vol. 11. No. 155. pp. 32-39.
- JÁUREGUI OSTOS, Ernesto E. (1971). Mesoclima de la ciudad de México. *Boletín del Instituto de Geografía*. México: U.N.A.M.
- JONES, Philip. (1992). "El clima de los últimos mil años". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol 10. No. 102. pp. 542-550.
- KENNETH, E. F. W. (1990). *La ciencia del medio ambiente*. Barcelona: Salvat.

- KEPPLER, Erhard (1986). *Sol, Luna y Planetas*. Barcelona: Salvat.
- LAMB, Hubert. (1982). *Climate, history and modern world*. London: Methuen.
- LABEYRIE, Jacques. (1988). *El hombre y el clima*. Barcelona: GEDISA.
- LAMBERT, Gerard. (1992). "Los gases del efecto invernadero". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol.12. No. 126. pp. 648-655.
- LEGGETT, Jeremy. (1996). *El calentamiento del planeta: Informe de Greenpeace*. México: F.C.E.
- LE TREUT y KANDEL R. (1992) "¿Qué nos enseñan los modelos del clima?" *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 664-673.
- LE ROY LEDURIE, E. (1991). *Historia del clima desde el año mil*. México: F.C.E.
- LEMARCHAND, Fabienne. (1992). "Erupciones en cadena a lo largo del Cinturón del Fuego". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol 11. No. 119. pp. 1213-1215.
- LEÓN, P. (1975). *Historia del desagüe de la Cuenca de México*. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. México: Gobierno Federal.
- LOCKLEY G., Martin. (1993). *Siguiendo las huellas de los dinosaurios*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- LONGWELL, R.CH. y Flint, F.R. (1979). *Geología Física*. México: Limusa.
- LÓPEZ, R. (1990). *Geología general y de México*. México: Trillas.
- LOTZE, Franz. (1970). *Geología*. México: UTEHA.
- LOVELOK, James. (1993). *Las edades de Gaia*. Barcelona: Metatemas.
- MACERA C., Omar. (1991). México y el Cambio Climático Global. *Ciencia y Desarrollo*. No. 100. Vol. XVII. México. pp. 52-67.
- MADEREY RASCÓN, Laura Elena. (1982). *Geografía de la atmósfera*. México: Instituto de Geografía. U.N.A.M.
- MAGAÑA RUEDA, V. Manuel. (1994). An strategy to determine regional Climate Change. *Primer Estudio de País: México*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Ecología.
- MARTÍNEZ LUNA, Víctor Manuel. (1999). "Los lagos y lagunas, un enfoque hidrogeográfico general". *NOTAS: revista de información y análisis*. INEGI. México, Aguascalientes. No. 7. pp.47-48.

- MARSHALL, John. (1981). *El aire en que vivimos*. México: Diana.
- MATTHEWS, H., William. (1979). *Geología*. México: Compañía General Ediciones.
- MAUNDER, J. (1990). *El impacto humano sobre el clima*. Madrid: Arias Montana Editores.
- MEDINA, Mariano. (1985). *Iniciación a la Meteorología*. Barcelona: Salvat.
- MELENDEZ, Bermudo. (1980). *Paleontología*. Madrid: Paraninfo.
- MENDOZA, Blanca. (1991). "Las tormentosas relaciones entre el Sol y la Tierra". *Información Científica y Tecnológica*. México, D.F. Vol. 13. No. 182. pp. 34-36.
- MENDOZA, M. y VILLANUEVA E. (1994). Escenario del Cambio Climático en México y resultados de Modelos que Suponen un Doblamiento del CO<sub>2</sub> Atmosférico. *Primer Taller de Estudio País: México*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Ecología.
- MILLER, Austin. (1975). *Climatología*. Barcelona: Omega.
- MINSTER, Jean y MERLIVAT, Lilliane. "A dónde va el gas carbónico?" *Mundo Científico*. Barcelona. 12. No. 126. pp. 682-687.
- MODERNA ENCICLOPEDIA METÓDICA ESTUDIANTIL. (1998). Barcelona: Reymo. Vol. III.
- MOODY, Richard. (1985). *Prehistoric World*. Rome: Chartwell Books Fac.
- Morales Méndez, Carlos. (1993). Diferencias térmicas en la ciudad de Toluca, México. Primer Coloquio Geográfico de América Latina y IX Simposio Mexicano Polaco. Toluca, México. pp. 139-144.
- MOSQUEIRA, R. Salvador. (1978). *Cosmografía y Astrofísica*. México: Patria.
- MOSSER, F. (1975). *Descripción de la Cuenca de México*. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. México: Gobierno Federal.
- MÚZQUIZ, Elizabeth y ANTARAMÍAN, Eduardo. (1990). Modificaciones del clima urbano en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. *Primer Simposio Internacional sobre Clima Urbano, Contaminación del Aire y Planeación de las Ciudades Tropicales*. Memoria. Guadalajara, Jalisco. pp. 117-120.
- NICOLIS, C.. (1992). " Puede bascular el clima ?" *Mundo Científico*. Barcelona.. Vol. 11. No. 115. pp. 435-447.
- NOBLES, Gontran. y LEBRIJA, Manuel. (1957). *La sequía en México y su previsión México*. México: S.M.G.E. Vol. 1.

- OCAÑA, S. y VEGA, S. (1992). *Contaminación atmosférica*. Toluca: U.A.E.M.
- OLIVER, E.J. (1985). *Climatology*. U.S.A: Selected Applications, Edward Arnold.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Boletín*. Abril de 1987. Vol. 34. No. 2.
- OROZCO, A y GODINEZ, A. (1988). "El y el ambiente magnético de la Tierra" *Investigación, Ciencia y Tecnología (ICYT)*. México, D.F. Vol.. 10. No. 141. pp.34-37.
- OTAOLA, A. Javier. et. al. (1993). *El Sol y la Tierra: Una relación tormentosa*. México: Fondo de Cultura Económica.
- OTAOLA, A. Javier. (1988). "Las variaciones solares, el tiempo meteorológico y el clima". *Información Científica y Tecnológica*. México, D.F. Vol. 10. No. 141. pp. 26-29.
- PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE CAMBIOS CLIMÁTICOS. (1991). *Cambio Climático*. Información de Greenpeace. Estocolmo: Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo.
- PERALTA, R. (1993). *Fluidos: Apellido de líquidos y gases*. México: F.C.E.
- PÉREZ ENRIQUEZ, Román. (1991) "¿ Podemos ver hacia el interior del Sol?" *Información Científica y Tecnológica*. México, D.F. Vol. 13. No. 182. pp. 19-23.
- PIERRE, Jean y COURTILLOT, Vincent. (1993). "Las Inversiones del campo magnético terrestre". *Mundo Científico*. Vol. 12. No. 129. pp.938-951.
- PONTING, Clive. (1992). *Historia verde del mundo*. Barcelona: Paidós.
- PORRITT, Jonathon. (1991). *Salvemos la Tierra*. México: Aguilar Editor.
- PROGRAMA NACIONAL DE ACCIÓN CLIMÁTICA. Documento para la Consulta Pública. (1999). México: Gobierno de México.
- PROL, R.M. (1989). *El calor de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Económica.
- RATCLIFF, J.A. (1972). *El Sol, la Tierra y las radiaciones*. Madrid: Guadarrama.
- RZEDOWSKI, Jerzy. (1978). *Vegetación de México*. México: LIMUSA.
- SADOURNY, R. (1993). "El hombre ¿modifica al clima?" *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 616-625.
- SALVAT. (1974). *La formación de la Tierra*. Barcelona: Salvat Editores.

SCHNEIDER, Stephen. (1993). "El efecto invernadero". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 13. No. 129. pp 504-520.

SCORER, Richard. (1989). *Investigación de las nubes por satélite*. Barcelona: Omega.

SEDESOL. (1992). Compendio de notas ambientales publicadas en el extranjero. México: Instituto Nacional de Ecología.

SEGURA, R.A. (1991). *¿ Qué es el Universo y la Tierra?*. Madrid: Granada.

SLOANE, C. (1991). *Atmospheric Chemistry Models and Predictions for Climate and air Quality*. Michigan. Lewis Publishers.

SEYFER, Carl Y SIRKIN A. (1979). *Earth history and plate tectonics*. New York: Harper and Row Publishers.

SHELLEY, Mary. (1983). *Frankenstein*. México: Editores Mexicanos Unidos.

STERN, P. y et. al. (1992). *Global Environmental Change*. Washington D.C.: National Academia Press.

TEJEDA MARTÍNEZ, Adalberto y ACEVEDO ROSAS, Federico. (1989). Aspectos termodinámicos en las alteraciones climáticas por la urbanización en la ciudad de Xalapa, Veracruz. IV Congreso Nacional de Meteorología. Chihuahua, México. pp. 55-58.

TEJEDA MARTÍNEZ, Adalberto. (1991). "El clima y el tiempo atmosférico". *Revista del Servicio Meteorológico Nacional*. pp. 15-19.

THOMPSON y O'BRIEN. (1989). *La Atmósfera*. México: Ediciones Culturales Internacionales, Time-Life.

THUILLIR, P. (1993). "La humanidad ante el efecto invernadero". *Mundo Científico*. Barcelona. Vol. 12. No. 126. pp. 603-605.

TISCAREÑO LÓPEZ, Mario, et. al. (1998). "Algunos efectos del fenómeno climático El Niño en la agricultura mexicana". *Ciencia y Desarrollo*. No. 139. Vol. XXIV. pp. 5-12.

TUDELA, Fernando. (1982). *Ecodiseño*. Colección Ensayos. México: U.A.M. Xochimilco.

VERNOR G. y TREWARTHA G. (1955). *Geografía Física*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica.

VILLEGAS HERRERA, Margarita. (1992). *Estimulación artificial de la precipitación origen, desarrollo y resultados obtenidos en el estado de México (1982-1987)*. Tesis de licenciatura. México, Toluca. Facultad de Geografía, UAEM.

- VITALIANO, Dorothy. (1986). *Leyendas de la Tierra*. Barcelona: Salvat.
- VIVAS, Leonel. (1992). *El Cuaternario*. Mérida Venezuela: Consejo de publicaciones de la Universidad de los Andes.
- VIVÓ ESCOTO, A. Jorge. (1980). *Geografía física*. México: Herrero.
- VIZCAÍNO MURRAY, Francisco. (1987). *La contaminación en México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- WOODWARD. (1987). *Climate and plant distribution*. Great Britain: Cambridge University Press.
- WUEBBLES, D. (1991). *Primer on Greenhouse Gases*. Michigan: Lewis Publishers. INC.
- ZAJAROVA, Tatiana. (1980). *Historia de la Tierra*. México: Cartago.