

## II.1.2 Atmósfera

### *Características generales*

La atmósfera es una mezcla invisible de gases, partículas en suspensión de distinta clase y vapor de agua, cuya composición relativa, densidad y temperatura cambia verticalmente; está compuesta por varias capas cuyo espesor global es de aproximadamente 10 mil km. La vida y los diversos fenómenos meteorológicos como precipitaciones y huracanes -entre otros- que describen y explican las características generales de los climas del planeta, tienen lugar en la capa inferior de la atmósfera, conocida como Troposfera, cuyo espesor aproximado es de 8 a 10 km en los Polos y de 17 km en el Ecuador del planeta. Por encima de la Troposfera, se encuentran la Estratosfera hasta 30 km de altitud aproximadamente, la Mesosfera hasta 80 km de altitud y la Termosfera desde los 80 km de altitud hasta el límite superior de la atmósfera.

Un metro cúbico de esta mezcla pesa mil 620 gramos; toda la atmósfera pesa alrededor de cinco mil 700 billones de toneladas (aproximadamente 90% de esta cantidad se encuentra en la Troposfera), apenas un millonésimo del peso de la Tierra, y la fuerza de gravedad que la une a ésta, hace que al nivel del mar ejerza una presión aproximada de  $1.05 \text{ kg/cm}^2$  (a esto se le llama una atmósfera de presión).

No todos los astros poseen atmósfera. Por ejemplo, la Luna carece de ella; hay otros astros que tienen atmósferas menores o de distinta composición que la de la Tierra, como los planetas Júpiter (atmósfera muy densa) o Marte (muy tenue).

La atmósfera envuelve a la Tierra y la protege de la fracción de los rayos del Sol que resultan letales, así como de la mayoría de las radiaciones cósmicas. Aisla nuestro mundo del frío del espacio, y acumula el calor que en forma constante manda el Sol. Sin anhídrido carbónico, las plantas no producirían los carbohidratos que son el sustento de la cadena alimenticia que sostiene a toda la fauna. Estos son sólo algunos de los múltiples servicios que la atmósfera presta a la vida y que muchas veces solemos pasar por alto los más de cinco mil millones de seres humanos que respiramos en ella.

Dada la influencia que la atmósfera ejerce sobre los seres humanos, en México al igual que en otros países se estudia y analiza diariamente el tiempo atmosférico; también se observa y registra el cambio de las variables que lo determinan, entre las cuales se cuentan la tempe-

ratura, la humedad así como la intensidad y dirección de los vientos.

En años recientes, las opiniones de científicos sobre la calidad del aire de la atmósfera que cubre nuestro país son cada vez más preocupantes; en especial, en las zonas metropolitanas con acelerados procesos de urbanización tales como la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, la composición del aire es cada vez más enrarecido y denso, encontrándose en él además de nitrógeno, oxígeno, argón, vapor de agua y anhídrido carbónico como componentes principales, una significativa cantidad de elementos tóxicos, especialmente derivados del plomo y el azufre, que deterioran la calidad de aire en dichas áreas.

## *Climas*

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado promedio de la atmósfera en un lugar y periodo específicos; en este sentido, el clima representa el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar y periodo determinados. Para conocer el clima es necesario observar y registrar el estado del tiempo atmosférico<sup>1</sup> durante muchos años, atendiendo especialmente a la temperatura y a la precipitación, que son los elementos principales del clima. En México hay cuatro grupos de climas: cálidos húmedos, templados húmedos, fríos y secos.

En el grupo de climas cálidos húmedos, característicamente la temperatura promedio del mes más frío es mayor a 18°C, y según el nivel de precipitación, tanto la anual como la del mes más seco, existen las siguientes variantes de este clima: húmedo con lluvias todo el año (con precipitación pluvial en el mes más seco mayor a 60 mm), húmedo con lluvias abundantes en verano (con precipitación en el mes más seco menor a 60 mm), y subhúmedo con lluvias en verano (con precipitación en el mes más seco menor a 60 mm); la diferencia entre los dos últimos se establece con base en el total de precipitación anual. Las regiones naturales de clima cálido son la selva húmeda o tropical y la sabana. Estas regiones se localizan principalmente al sur de nuestro país y abarcan gran parte de estados como Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

El grupo de climas templados húmedos se caracteriza por presentar temperaturas promedio entre -3°C y 18°C en el mes más frío del año, y superior a 10°C en el mes más caliente; presenta tres variantes según el régimen de humedad: lluvias todo el año, lluvias en verano, y lluvias en invierno. Este grupo

de climas se ubica principalmente en el centro del país en importantes áreas de estados como Puebla, Estado de México, Guanajuato, Querétaro y Michoacán.

El grupo de climas fríos tiene una temperatura media del mes más caliente menor a 10°C. Este grupo climático se localiza solamente en las regiones más elevadas de los grandes volcanes de México como el Pico de Orizaba, Malinche, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca y Volcán de Colima.

El grupo de climas secos es el que ocupa una mayor extensión en el país; se caracteriza por el hecho de que la evaporación excede a la precipitación, de forma que ésta no es suficiente para mantener corrientes de agua permanentes. La separación entre este grupo de climas y los húmedos (cálidos o templados), así como entre las variantes de climas secos (seco o estepario, y muy seco o desértico), se establece con base en relaciones algebraicas que dependen de la temperatura promedio anual y del régimen de lluvias en el año. Las regiones naturales con este tipo de clima, estepa y desierto, tienen en común las temperaturas extremas, pero se diferencian entre sí por tener escasas o muy escasas lluvias.

Los climas muy secos se localizan en el norte de la Altiplanicie Mexicana, a altitudes menores de mil 500 m, así como en la porción de la llanura costera del Pacífico situada al norte del paralelo 25°N, y en las zonas litorales de la Península de Baja California con excepción de su extremo noroeste; en tanto que los climas secos o esteparios se encuentran en la periferia de los antes mencionados, así como en las zonas interiores del centro y sur del país que están menos expuestas a la acción de los vientos húmedos procedentes del mar, como sucede en algunas porciones del sur de la altiplanicie mexicana, en la parte más baja de la cuenca del Balsas, en las cuencas altas de los ríos de la Mixteca y en los extremos noroeste de las penínsulas de Baja California y de Yucatán.

Existen entidades, sobre todo las de variado relieve, que tienen casi todos los climas del país. Por ejemplo, en Oaxaca el clima es templado con inviernos fríos en la región de la sierra; en los valles centrales y mixteca alta, es templado subhúmedo y seco extremo; en la cañada y la llanura costera, cálido húmedo; y cálido subhúmedo en la región del istmo.

En términos generales, la distribución porcentual que ocupan los principales tipos de clima de México es: cálido húmedo, 4.7%; cálido subhúmedo, 23.0%; seco, 28.3%; muy seco, 20.8%; templado subhúmedo, 20.5% y templado húmedo con 2.7% del territorio (no se consideran en estas estimaciones otros tipos de climas que existen en el país, por tener menor importancia en términos de la superficie que ocupan) (Mapa II.1.2.1).

<sup>1</sup> Desde el punto de vista climático, el tiempo es la suma de las propiedades físicas de la atmósfera en un periodo corto; tales propiedades son: la temperatura, la precipitación y humedad, la dirección y fuerza del viento, y la presión atmosférica. El tiempo atmosférico representa entonces, el estado momentáneo de la atmósfera.

## *Temperatura*

La temperatura de un cuerpo es una medida del movimiento de las partículas que lo componen; en cierta forma, es una medida de la intensidad del calor que posee. El procedimiento de transmisión de calor entre dos cuerpos puede ser de tres formas: por conducción, a través de contacto físico; por convección, es decir, por movimiento circular entre las moléculas o partículas de un cuerpo fluido caliente que asciende y partículas frías del mismo cuerpo que reemplazan a las primeras (por este mecanismo se calientan masas de aire frío con aire caliente ascendente); y, por radiación, a través de ondas electromagnéticas. Es por este último medio que llega a la Tierra el calor del Sol.

Cuando amanece, la Tierra empieza a recibir más calor del que emite a la atmósfera, por lo que aumenta considerablemente su temperatura. A lo largo del día la ganancia de calor es compensada por las pérdidas por irradiación, convección y conducción; este equilibrio se mantiene hasta después del mediodía. Al anochecer la superficie de la Tierra ya no recibe calor solar pero sigue cediendo el calor acumulado durante el día, por esta razón la temperatura del aire decrece, y la del suelo aún más, llegándose a un mínimo térmico en el momento de la salida del Sol.

La altitud es un factor fundamental en la distribución de las temperaturas. Dentro de la Troposfera, la temperatura disminuye al aumentar la altitud, aunque tal disminución no es uniforme ya que depende de la hora del día, de la estación del año y de la situación del lugar; la experiencia cotidiana provee ejemplos al respecto, por ejemplo, cuando se sube una montaña se nota que el aire se va enfriando, esto es debido a que con la altitud la presión atmosférica disminuye y el aire, al expandirse, se enfría.

La variación de la temperatura —llamada gradiente térmico— de una masa de aire seco ascendente es de aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de cambio de altitud. Pero si el aire está saturado de humedad, el enfriamiento del aire es más lento, debido a que al ascender el aire, se condensa el agua que contiene, cediendo calor en el proceso; de manera que, en este último caso, el gradiente térmico medio es de  $0.6^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de cambio de altitud.

Así pues, estados como Campeche, Yucatán y Quintana Roo, que no sobrepasan los 310 metros sobre el nivel del mar, tienen temperaturas medias anuales de  $26\text{-}27^{\circ}\text{C}$ , a diferencia de otras entidades como el estado de México y el Distrito Federal, que debido a su mayor altitud tienen temperaturas promedio entre  $15\text{-}16^{\circ}\text{C}$ .

Además, estados como Chiapas o Michoacán, en los que sus altitudes van desde cero hasta más de 3 500 m, pueden presentar diversos intervalos de temperatura promedio: entre  $16\text{-}17^{\circ}\text{C}$  en las sierras, hasta  $29\text{-}30^{\circ}\text{C}$  en algunas regiones más cercanas al nivel del mar.

Se presentan, no obstante, excepciones locales a esta regla general, pues son frecuentes los casos en los que las capas inferiores de la atmósfera son más frías que las superiores. Este fenómeno, llamado inversión térmica, es un cambio de signo en el gradiente térmico, es decir, a menor altura menor temperatura, y tiene lugar en el fondo de los valles. Durante las noches, el aire del fondo de los valles se enfría y si hay poco viento, su temperatura desciende marcadamente. Como el aire frío es más denso que el aire caliente, permanece en el fondo hasta que no se presente un viento fuerte que lo mueva o que el calentamiento del aire lo haga ascender.

Este fenómeno ocurre en zonas como la Ciudad de México y Guadalajara, especialmente en épocas sin lluvias y vientos que logran levantar la capa más baja de aire; debe notarse la relevancia de esta situación, dado que en tales ciudades se producen emisiones importantes de gases contaminantes que, en las circunstancias mencionadas, quedan atrapados en las capas bajas de la Troposfera.

Otro factor importante de variación de la temperatura es la latitud. A escala mundial, existe un gradiente térmico latitudinal, caracterizado por una disminución general de la temperatura desde el Ecuador del planeta hacia los polos. De manera general, se forma una franja de climas cálidos alrededor del plano ecuatorial, rodeada por franjas de climas templados en latitudes medias de ambos hemisferios, y éstas a su vez por franjas de climas fríos; cabe señalar que tales franjas son irregulares debido a la desigual distribución de océanos, tierra continental, corrientes marinas y de la circulación general de la atmósfera entre los hemisferios norte y sur. En México se presenta una situación similar, en la cual, regiones como las selvas de Oaxaca y Chiapas presentan temperaturas más elevadas que regiones del norte del país con una misma altitud ubicadas en la franja del Trópico de Cáncer.

## *Precipitación*

El agua de la superficie del planeta está sometida a un continuo ciclo. Del agua procedente de la precipitación, la vegetación utiliza una parte muy pequeña para sus funciones vitales; el resto, mediante el proceso de transpiración regresa a la atmósfera en forma de vapor. Una parte del agua recibida en el suelo vuelve a la atmósfera de un modo más o menos rápido por evaporación; la parte que queda en la superficie ingresa a la hidrosfera, la cual está también sujeta a pérdidas por evaporación.



Aunque el vapor de agua representa un porcentaje muy bajo de la atmósfera (en general fluctúa de cero a 5% en volumen), es el componente más relevante en términos de su participación en los fenómenos que generan el tiempo atmosférico y el clima. La importancia del vapor de agua se desprende, entre otras razones, de las siguientes: cuanto mayor es la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, mayor es la capacidad de ésta para producir precipitaciones, las cuales son uno de los elementos más importantes del tiempo y del clima; es casi transparente a la radiación solar pero absorbe parte de la energía irradiada por la Tierra, por lo que regula el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera; y, es por sí mismo un medio de transporte de energía, misma que se libera al condensarse el vapor de agua y puede ser trasladada por el viento a grandes distancias.

El vapor de agua de la atmósfera se precipita debido a la condensación por disminución de la temperatura, lo cual puede ocurrir en distintas circunstancias; por ejemplo, cuando un frente frío (masa de aire que en razón de su temperatura es denso y pesado) avanza introduciéndose por debajo de otra masa de aire caliente, y por ello más liviano, la empuja hacia arriba por lo que este aire caliente es enfriado y se condensa la humedad que contiene, originándose así la formación de nubes y lluvias. Asimismo, cuando una masa de aire húmedo asciende como consecuencia de encontrarse en su paso una barrera orográfica o por el calentamiento que acumule tanto por radiación como por conducción (esto típicamente ocurre en la zona de corrientes ascendentes ecuatoriales), cede calor al entorno debido al gradiente térmico de la Troposfera, por lo cual la humedad que contiene se condensa y se precipita. Según el lugar y las circunstancias en que ocurra tal precipitación, ésta puede ser en forma de lluvia, granizo o nieve (y formas intermedias conocidas en México como aguanieve).

La precipitación en forma de lluvia se mide en milímetros; un milímetro de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado o diez metros cúbicos de agua por hectárea. Estas mediciones se deben registrar diariamente a fin de poder reportar datos acumulados al mes o al año, los cuales son útiles por ejemplo, para clasificar un clima de acuerdo con su cantidad de lluvia, en cuyo caso se utilizan los promedio mensuales o anuales de las precipitaciones ocurridas en un periodo de varios años (de manera excepcional, se usan periodos menores de 10 años, pero lo necesario es que sean de cuando menos 20 años).

México es un país en el que, en general, existe una alternancia marcada entre una época húmeda y otra seca en cada año, la cual obedece al comportamiento estacional de los centros de acción de presión atmosférica a escala mundial.

En el mes de julio, por ejemplo, centrando la atención en el Hemisferio Norte, y específicamente en el continente americano, existe un centro de alta presión alrededor del paralelo 30°N sobre el Océano Atlántico, y un centro de baja presión en el norte de México y suroeste de Estados Unidos de América, que junto con el desplazamiento hacia el norte de la zona de baja presión ecuatorial (en América hasta el paralelo 10°N), ocasionan que México sea cubierto por vientos cargados de humedad con dirección sureste (conocidos como vientos Alisios), dado el sentido de desplazamiento del aire desde los centros de alta presión hasta los de baja presión, y dado el efecto que sobre este desplazamiento tiene la rotación de la tierra, desviándolo hacia el oeste (efecto conocido como fuerza Coriolis).

La situación es distinta en invierno; en el mes de enero el centro de alta presión sobre el Atlántico se mantiene, pero ahora la zona de baja presión ecuatorial se desplaza hacia el sur coincidiendo prácticamente con el Ecuador geográfico del planeta, además del hecho de que sobre el continente ya no existe un centro de baja presión en el norte de México, sino uno de alta presión en el centro de Estados Unidos de América, todo lo cual da por resultado que los vientos húmedos del este toquen a México sólo en su parte sur; el resto del territorio recibe vientos secos procedentes del centro de alta presión continental antes mencionado.

Debido a lo anterior, en el total de las lluvias que se presentan en México existe un claro predominio de aquellas que ocurren en verano, las cuales representan el 90% en la vertiente del Pacífico (hasta el inicio del Golfo de Cortés) y entre 70 y 80% en general en la vertiente del Golfo (debido a las lluvias invernales de los “nortes” que en esta región se presentan); en cambio, en el extremo noroeste del país y en la Península de Baja California, su participación disminuye hasta 10% en las regiones donde las lluvias predominantes son de invierno.

Cabe acotar que, en diferentes partes del país, principalmente en las llanuras costeras del Golfo de México, en la región sur de la vertiente del Pacífico, y en distintas zonas del Altiplano y del centro del país, se presenta una sequía interestival de intensidad y duración variables (en promedio, puede durar de dos a cuatro meses y su mayor intensidad se puede presentar en los meses de julio, agosto o septiembre). Aparentemente, este fenómeno no se restringe a México, sino que puede llegar a presentarse en zonas tropicales tan al sur como Panamá y Colombia; en México se le conoce como “canícula”.

La canícula no es necesariamente un periodo en el que deje de llover por completo, sino un periodo relativamente seco en el que el número de días lluviosos disminuye de tal manera que la marcha anual de precipi-

taciones es bimodal, es decir, presenta dos máximos de precipitación separados por un mínimo, el cual corresponde a la canícula.

La causa inmediata de que se presente en México este periodo de sequía veraniega se halla en las variaciones del patrón de circulación de la atmósfera que ocurren sobre el Golfo de México. Tales variaciones consisten en la interrupción del patrón de verano de circulación del aire, por una circulación como la que ocurre en invierno; el fenómeno que produce este cambio es la presencia de una masa de aire que se desplaza a lo largo de la costa oriental de Estados Unidos, con dirección a Centroamérica pasando por Cuba y la Península de Yucatán. Cuando se presenta esta corriente, los vientos del este y ciclones tropicales no penetran al Golfo de México, sino que tienden a desviarse con dirección norte.

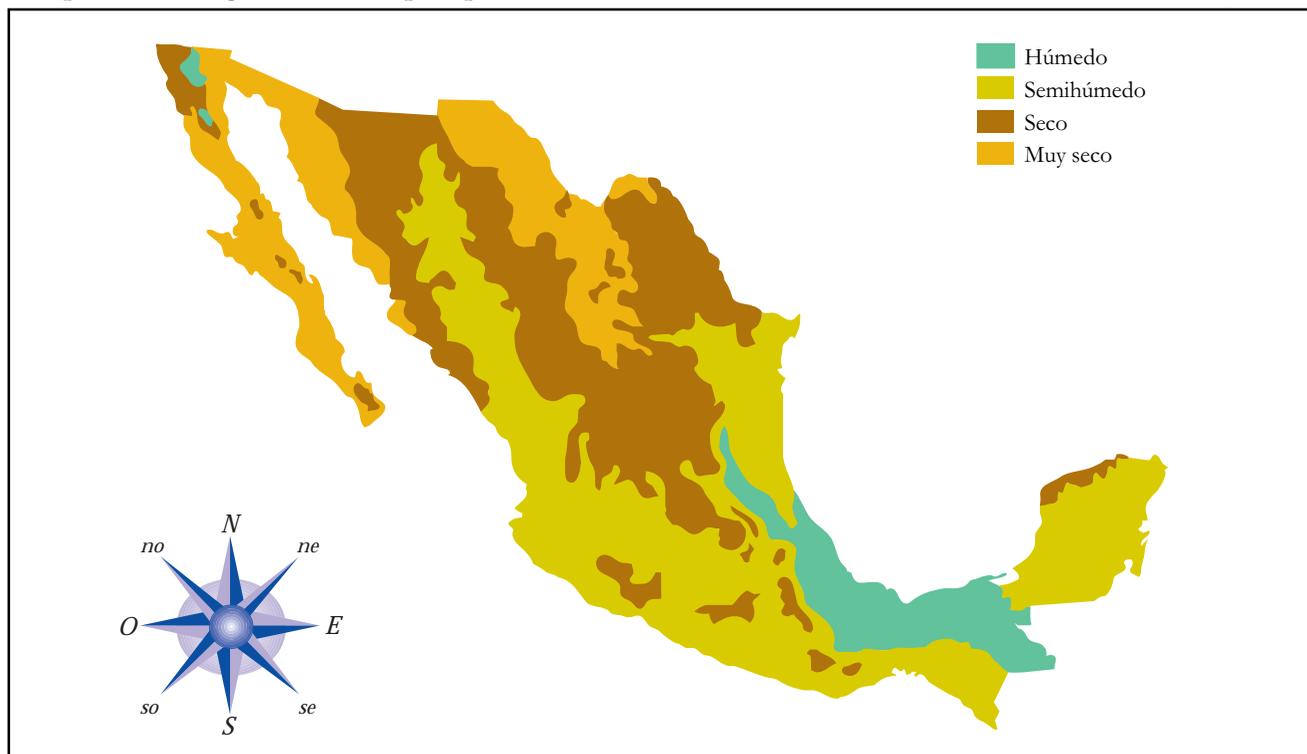
Finalmente, respecto de los volúmenes y distribución de las precipitaciones pluviales que recibe México, se puede señalar que éstas son muy irregulares. Así, se pueden encontrar selvas exuberantes de más de 40 metros de altura, en áreas de Chiapas o Veracruz, con precipitaciones superiores a los cuatro mil milímetros anuales (existen registros históricos de algunas localidades de Chiapas, según los cuales las precipitaciones han llegado a ser mayores de cinco mil 100 mm al año); y en el extremo opuesto, porciones del territorio nacional con

escasa o nula vegetación, donde la precipitación es inferior a los 200 mm anuales, localizadas en los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y en la Península de Baja California, donde existen varias localidades con precipitaciones anuales menores a 100 y a 50 mm (Mapa II.1.2.2).

Puede notarse, sin embargo, que existe cierto patrón general en la distribución espacial de las lluvias, conforme al cual, las zonas con mayores volúmenes de precipitación pluvial integran una región en forma aproximada de "U". El "brazo" derecho de esta región incluye a las laderas de barlovento de la Sierra Madre Oriental, las llanuras costeras del Golfo de México, Chiapas y el sur de la Península de Yucatán; el "brazo" izquierdo está constituido por las laderas costeras de la Sierra Madre Occidental; y en la porción intermedia entre estos "brazos" se encuentran el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur. Claramente en este patrón espacial queda evidenciado el efecto antes señalado de las barreras orográficas como uno de los factores que promueven la producción de precipitaciones; en el caso de los "brazos" derecho e intermedio, este efecto se produce ante el paso de los vientos Alisios sobre el territorio nacional, en tanto que en el caso del "brazo" izquierdo, aparentemente es consecuencia de la cercanía de la ruta de los ciclones tropicales del Pacífico la cual corre casi paralela a la costa occidental de México.

### Comportamiento general de la precipitación en México

Mapa II.1.2.2



FUENTE: INEGI, Datos básicos de la geografía en México, 2a. ed., México, 1991. Modificación al mapa de climas de la República Mexicana.