

CONSIDERACIONES GENERALES

Los espacios de las edificaciones antiguas sustentadas en muros gruesos, macizos, construidos con materiales pesados, poseían propiedades que los hacían confortables porque eran secos, cálidos en invierno, frescos en verano y no dejaban transmitir ruidos. Las edificaciones actuales como consecuencia del desarrollo de las matemáticas, y de la física resultan ser más esbeltas, con paredes delgadas, producto de métodos de cálculo de una estática avanzada, basada en el conocimiento del comportamiento de los materiales que han hecho que se requieran volúmenes notablemente inferiores de secciones de elementos portantes como muros, columnas, vigas y suelos.

Lo anterior, como todo desarrollo tecnológico, lleva intrínseco nuevas situaciones por resolver, lo que implica diseñar medios

de protección contra la humedad, la temperatura, el ruido. La resolución de estas nuevas situaciones requiere de cálculo y análisis para el diseño de cada uno de los materiales, componentes y elementos que harán parte de la edificación, información que deberá ser expresada en planos precisos y completos que garanticen una buena ejecución de las obras y su operación en el tiempo.

Los espacios destinados al cumplimiento de diversas funciones que desarrolla el hombre deben ser confortables, es decir saludables y secos. La humedad resulta nociva para la mayoría de los materiales de construcción y de las instalaciones de la edificación; por ejemplo, los ladrillos de arcilla se estallan al helarse el agua en sus poros, los ingredientes solubles de los morteros se disuelven, el acero se corroe, la humedad genera hongos



y pudre la madera. De lo anterior se deduce que toda edificación y cada una de sus partes o elementos deben tener un buen comportamiento frente al agua.

Las humedades son una de las patologías más frecuentes que pueden afectar a una edificación, entendidas éstas como la existencia no deseada en los materiales o en los elementos constructivos de un contenido de agua superior al correspondiente al de equilibrio hídrico con su entorno.

Los materiales tienden a establecer de forma natural el equilibrio hídrico con el ambiente o los otros materiales que les rodean. Este equilibrio se alcanza mediante los mecanismos de intercambio (captación o cesión) de agua relacionados con el agua líquida: Succión, absorción o relacionados con el vapor de agua: Adsorción, difusión o evaporación.

Las humedades no sólo inciden en las condiciones de salubridad y confort de las edificaciones, sino que pueden llegar a afectar las condiciones de servicio. Por otra parte, el agua interviene en muchos otros procesos patológicos que pueden afectar la durabilidad de los materiales y, por extensión, de las estructuras y elementos constructivos (degradación, corrosión, disgregación, pudrición, etc.).

No se conocen estadísticas a nivel local de las quejas y reclamos presentados por usuarios o propietarios relacionadas con

daños o defectos en las edificaciones en la etapa de postventa o en su uso posterior, en las cuales se solicite dar cumplimiento a las pólizas de garantía. Pero estas reclamaciones son cada día más comunes debido al aumento del nivel de desarrollo de las sociedades en cuanto a la calidad del producto y del servicio, que hacen que también aumenten las exigencias sobre los requisitos de calidad que hacen necesaria la realización de estudios o elaboración de conceptos expresados en informes técnicos y dictámenes periciales relacionados con dichos defectos. Juan Monjo Carrió (1994), en su libro *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*, presenta estadísticas de causas de lesiones en la edificación en España, en las cuales las humedades representan el 13% de éstas; sin embargo, si se revisa en detalle los otros tipos de afecciones, tales como desprendimientos (23%), suciedades (22%), grietas (15%), erosiones (9%), corrosión (8%), eflorescencias (5%), organismos (5%), estos también suelen estar asociados a presencia de agua en la edificación, ya sea en su aparición inicial, o en el proceso de deterioro y por lo tanto es causante de daños muchas veces irreparables que conducen a la demolición de ésta o de algunas de sus partes.

Estudios realizados en el sector de la construcción coinciden en señalar que las lesiones se originan fundamentalmente en



las fases de planeación y de ejecución. De ahí la importancia que tiene el estudio de los aspectos técnicos y constructivos para que se adopten las medidas preventivas.

Las humedades pueden aparecer en la fase de funcionamiento por problemas en las diferentes fases del proceso de producción de obras de edificación, como por ejemplo:

Fase de planeación

- Adopción de soluciones inadecuadas, no adaptadas a las necesidades de la edificación o a las condiciones geográficas del lugar o a las de su entorno inmediato.
- Escasa definición del proyecto, en cuanto a materiales y ausencia de detalles de unión, trazado de instalaciones y canalizaciones, etc.
- Incompatibilidades entre materiales con el ambiente al que quedarán expuestos.
- Descoordinación entre unidades de obra, que obligará a soluciones improvisadas durante la ejecución.
- Falta de consideración del mantenimiento.

Fase de ejecución

- Deficiente cualificación del personal.
- Errores de replanteo.
- Incumplimientos de la normativa o las condiciones de puesta en obra.
- Modificaciones de proyecto.
- Cambios de los materiales.

Fase de funcionamiento

- Ausencia de mantenimiento (de las instalaciones de evacuación, sustitución de materiales al final de su vida útil).
- Acciones indebidas sobre los materiales y elementos constructivos (impactos, interrupción de redes de evacuación, etc.).
- Cambios de uso (modificación de cargas, aportes de vapor no contemplados, modificaciones en el trazado de redes).

Vincular el comportamiento hídrico en el diseño de la edificación es reconocer que el agua como elemento presente en el ambiente es un factor de vida o destrucción y por lo

tanto la selección de materiales y el diseño de cada elemento de ésta es una de las variables de diseño arquitectónico, como lo son los criterios estéticos, el cálculo estructural, el dimensionamiento de las instalaciones, o las exigencias funcionales, constructivas y económicas.

Para analizar la presencia de humedad en la edificación, es necesario conocer sus diferentes estados, los mecanismos por los que el agua tiende a penetrar y moverse en los materiales. Este conocimiento permitirá tomar las medidas preventivas en cuanto a diseño, selección de materiales, así como las correctivas que garanticen su conservación; todo esto dentro de una filosofía armónica que tenga presente su inserción espacio-tiempo que le es propia, como de cada una de sus partes.

El clima es un elemento de primer orden a la hora de diseñar porque abarca factores como: confort del usuario, forma, color, orientación, iluminación interior y exterior, integración con la naturaleza, con los materiales y la localización. La construcción dependerá de lo riguroso o benigno del clima y sus exigencias. Las edificaciones se consideran como mecanismo de control térmico y ambiental donde el usuario se siente protegido, seguro y bajo efectos psicológicos y físicos aceptables.



Cuando se habla de las edificaciones se hace referencia a cualquier obra del hombre que conforma espacios con condiciones físico-ambientales propicias a las actividades que en ellas se desarrollan; puede ser tan simple en algunos climas como un techo sin paredes para protegerse de la lluvia y el sol, hasta otros de alta complejidad constructiva y formal donde también se produce la separación del medio exterior.

La edificación como conformadora del medio ambiente, en sus espacios se vale de múltiples recursos que varían de acuerdo con los diferentes climas y sus condiciones son obtenidas a través de materiales y técnicas constructivas empleadas de diversos modos, las cuales constituyen elementos de cerramientos horizontales y verticales con condiciones materiales tales que le garanticen aislamiento térmico, ventilación, protección contra la lluvia, entre otros.

EL CLIMA

La Tierra está rodeada de una enorme masa de aire llamada atmósfera. Todos los días son diferentes las temperaturas de este aire, la cantidad de humedad que hay en él, la velocidad y dirección de los vientos, la cantidad y tipos de nubes, todos estos factores son los que constituyen el “tiempo atmosférico” o temperie. Este se reconoce a partir de las observaciones que registran las condiciones del tiempo atmosférico de una zona o región durante un periodo de tiempo.

El clima, o sea las condiciones de los estados atmosféricos que se suceden habitualmente en un lugar, es uno de los factores más importantes en la ecología del lugar, es el responsable del tipo de vegetación, de la fauna y de las edificaciones.

El clima de un lugar está dado por una serie de factores y elementos, los primeros constantes y los segundos variables pero en sucesión habitual.

La existencia de diferentes climas se debe a la acción de numerosos factores que, al combinarse, conducen a resultados muy disímiles. Los elementos determinantes en las

variables climáticas son: la temperatura, el asoleamiento y la humedad en sus múltiples variantes y causas. Numerosas condiciones influyen en los elementos anteriores; entre otras: latitud geográfica (su distancia al ecuador), altitud (altura con respecto al nivel del mar), cercanía a las costas o proximidad del mar, topografía, vegetación, dinámica del viento; actualmente se les agrega la contaminación ambiental y otras alteraciones que el hombre ha introducido en su medio.

Los elementos o variables del clima en una región son principalmente: la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica, la evaporación, las precipitaciones y la velocidad del aire o vientos del lugar.

Es pertinente señalar que se emplea también el término microclima para hacer referencia al caso donde en una región o zona con un clima definido, existe un área relativamente reducida en la cual se dan condiciones climáticas específicas que difieren de la general; este término puede ser válido también al emplearlo para una edificación en la cual se produce una marcada diferencia climática con su entorno.

ELEMENTOS CLIMÁTICOS Y PARÁMETROS MEDIOAMBIENTALES

Los elementos del clima son entendidos como las condiciones, variables o propiedades físicas de la atmósfera utilizadas para medir y describir el clima en un momento dado, lo cual quiere decir que afectan el tiempo atmosférico. Las condiciones climáticas están dadas por la ubicación geográfica, y pueden categorizarse en condiciones macroclimáticas y microclimáticas. Las condiciones macroclimáticas se originan por la pertenencia a una latitud y región determinada, y las variables ambientales más importantes son:

- Radiación solar.
- Dirección y velocidad del viento.
- Temperaturas medias, máximas y mínimas.
- Humedad relativa (HR).

- Niveles de nubosidad.
- Pluviometría.

Las condiciones microclimáticas surgen de la existencia de accidentes geográficos locales que pueden modificar las anteriores condiciones de forma significativa. Las más relevantes son:

- Pendiente del terreno.
- Montañas, colinas aledañas que actúan como barrera a la radiación solar o modifican la dirección y velocidad del viento.
- Masas de agua cercanas que reducen las variaciones bruscas de temperatura e incrementan la humedad del ambiente.
- Masas boscosas cercanas.
- Contexto urbano, representado por edificios cercanos, calles, aceras, parques, etc.

Estos elementos son de gran importancia para el diseño arquitectónico y pueden ordenarse siguiendo una secuencia aproximada de causa y efecto. Entre ellos, tenemos: la radiación solar, el viento, la temperatura, la humedad, las precipitaciones, la radiación de onda larga y la presión atmosférica (Diagrama 1.1).

a. La radiación solar. El estudio de este parámetro resulta necesario pues la radiación produce un incremento de la temperatura en los cerramientos, que luego desprenden ese calor en el interior de las edificaciones y generan movimientos de masas de aire por diferencias de temperatura entre las zonas expuestas al sol y las que están a la sombra.

b. El viento. Es considerado un parámetro fundamental en el análisis ambiental de las edificaciones, puesto que del mismo modo que puede ser una forma de climatización, también puede generar manifestaciones de malestar en los ocupantes de un espacio e incluso ocasionar problemas de inestabilidad en las edificaciones. Además tiene una influencia significativa en el intercambio de calor entre el exterior, el interior y el espacio que se va a acondicionar.

c. La temperatura. Es probablemente uno de los parámetros fundamentales del clima. Desde el punto de vista de acondicionamiento del aire resulta de suma importancia en el análisis del comportamiento de las edificaciones, ya que junto con los resultados obtenidos de otros parámetros podríamos determinar si se ofrecen o no unas condiciones climáticas de confort, al mismo tiempo que determina, en gran medida, el sistema constructivo y las medidas correctoras en el caso de reacondicionamiento.

d. La humedad. Este elemento resulta de gran importancia tanto en el diseño como en el planteamiento de medidas correctivas, ya que junto con la temperatura del aire y el movimiento del aire pueden incidir directamente en las condiciones de confort y especialmente en la percepción de la temperatura.

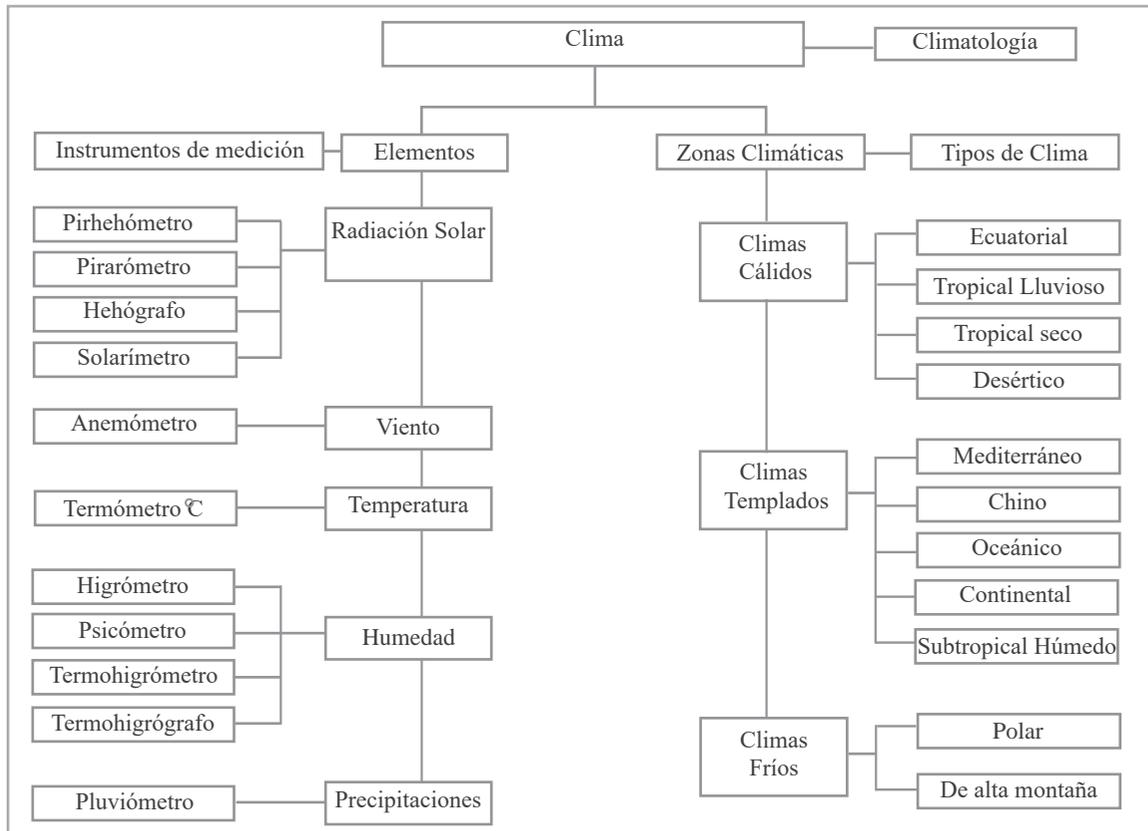
e. La precipitación. La precipitación es un elemento del clima que influye en la humedad relativa, vegetación y contaminación, entre otros.

A todos estos parámetros hay que añadir el efecto de una orientación y disposición adecuada de las edificaciones que favorezcan de la mejor forma posible el máximo aprovechamiento de las condiciones climáticas del lugar de implantación.

La elección del sitio de la edificación constituye una decisión muy importante en el proceso de diseño sustentable, tan importante como el diseño de la edificación en sí misma. Además de seleccionar la ubicación más adecuada, se debe tener en cuenta que siempre es posible actuar sobre el entorno inmediato (por ejemplo, alterando o modificando la superficie del terreno, añadiendo o quitando vegetación o agua) para modificar las condiciones microclimáticas.

Existen muchas clasificaciones de climas y todas toman como base la relación existente entre temperatura y humedad, así como la variación que tienen en el tiempo.

Diagrama 1.1 *Clima, elementos, zonas climáticas*



HUMEDAD Y TEMPERATURA

La humedad no es otra cosa que el vapor de agua presente en el aire, el cual se encuentra en la totalidad de la atmósfera terrestre, en cantidades variables. Adicionalmente, a éste hay que agregarle el flujo de dicho vapor ocasionado por los vientos que se dispersan y las precipitaciones que lo concentran en forma de agua para que la evaporación haga repetir el ciclo.

La humedad y la temperatura son dos parámetros que hay que analizar conjuntamente; son determinantes en las características de cualquier clima, su interacción tiene gran influencia en la conservación de los bienes muebles e inmuebles, a través de las magnitudes que alcanzan y, sobre todo, por la variación de los mismos en períodos de tiempo más o menos prolongados.

Cuando se habla de humedad se hace referencia de modo general a las formas

en que se presenta: precipitaciones, evaporación, condensación y congelación; en el caso de las edificaciones adquiere formas y manifestaciones vinculadas a las anteriores, un tanto específicas (Figura 1.1).

Para cuantificar la humedad en un medio dado, es necesario conocer la cantidad de agua que allí existe o la que pudiera haber en ciertas condiciones. La humedad se puede expresar en términos absolutos; es decir, la cantidad de agua presente en una unidad de volumen sin considerar otros factores, por ejemplo decir que en un metro cúbico de aire hay 40 g de agua en forma de vapor o que en un metro cúbico de cierta madera hay 80 g de agua. En realidad esta cuantificación absoluta no brinda toda la información requerida, no dice cuánta agua pudiera contener esa unidad de volumen. Para salvar esta limitante se introduce el concepto de HR; el mismo cuantifica la relación existente entre la cantidad de vapor de agua contenida en



Figura 1.1 El ciclo del agua

un volumen y aquella necesaria para alcanzar la saturación, manteniendo constante la temperatura. Por lo tanto, es necesario reconocer la relación directa que existe entre humedad y temperatura; si tomamos un volumen de aire constante y se incrementa la temperatura puede contener mayor cantidad de vapor de agua; esto es válido hasta llegar al punto de saturación donde no es posible admitir más vapor y su exceso se condensa. La máxima cantidad de vapor de agua que puede contener un volumen a una cierta temperatura es conocida; estos valores están tabulados y suficientemente divulgados.

Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera:

$HR = \text{Humedad relativa} = \frac{\text{Cantidad de vapor de agua por unidad de volumen (g/m}^3\text{)}}{\text{Cantidad de vapor de agua por unidad de volumen (g/m}^3\text{) a saturación}} \times 100\%$.

La cantidad de vapor de agua contenida en un volumen fijo con aquella que conten-

dría en su punto de saturación a la misma temperatura, multiplicada por 100; la cifra obtenida será la magnitud de la HR.

La HR es empleada para medir la humedad ambiental; a través de su valor podemos saber si el aire va a desecar o humedecer las partes o componentes de la edificación o los objetos que contenga. La humedad absoluta, por no tomar en consideración la temperatura, no cuantifica cuán húmedo está el ambiente. Es importante el control de la humedad relativa por estar vinculada directamente al confort térmico que pueda obtenerse en un medio y, por otro lado, existen rangos en los cuales se conservan en mejores condiciones los materiales que conforman el bien; fuera de esos valores de HR, se propicia la acción de numerosos factores de deterioro, entre los que tenemos:

- Cambios de volumen en los materiales que pueden provocar fisuras y desprendimientos.



- Se favorece y acelera la corrosión.
- Se desarrollan y reproducen diferentes microorganismos que dañan los materiales.

Desde el punto de vista de la conservación tiene mayor importancia la humedad relativa que la temperatura.

La humedad puede medirse en términos absolutos, es decir, la cantidad de gramos de vapor de agua contenidos en una unidad de volumen o peso del aire seco; esta medida se denomina “humedad absoluta” y se expresa en gramos de agua por Kg de aire seco. La humedad absoluta es una medida poco útil en la práctica, ya que en el mismo grado de humedad puede darse un aire muy húmedo, si la temperatura es suficientemente baja, o muy seco, si la temperatura es elevada.

La humedad relativa, en cambio, es la cantidad de agua que se encuentra en el aire a una determinada temperatura, con respecto a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a esa temperatura en condiciones de saturación. Si ésta se encuentra entre un 50% y un 70% es un buen índice biológico, resultando ser la más favorable para el hombre. La humedad relativa (HR) tiene una amplia variedad geográfica; los climas ecuatoriales se caracterizan por HR entre el 80% y el 100%; regiones con menos de un 50% se consideran secas y con valores cercanos al 20% como muy áridas.

Otra unidad de medida es el llamado

“punto de rocío”, entendido como la temperatura que el aire húmedo debe alcanzar (manteniendo constante la presión y la humedad) para condensarse (saturarse). En este punto, el vapor contenido en el aire cambia a la forma visible de pequeñas gotitas de agua que se depositan en objetos; por ejemplo, la hierba en las mañanas presenta saturación de gotas de agua, debido a que la temperatura cerca del suelo es inferior a la del aire de niveles superiores.

El aire caliente contiene más humedad que el aire frío. La temperatura a la que la humedad se condensa se denomina punto de condensación; en este punto, el aire está completamente saturado con humedad (100% de humedad relativa). La humedad relativa mide la cantidad de humedad en el aire con respecto a la cantidad de humedad que el aire puede soportar a determinada temperatura; si el aire (que está a 100% de humedad relativa) se calienta, la humedad relativa disminuye. Esto es así porque a mayor temperatura, el aire puede soportar un porcentaje mayor de humedad.

Todos los seres vivos necesitan de niveles de humedad para vivir, dado que sus cuerpos están constituidos por cerca de un 85% de agua; éstos tienden a conservarla o a perderla según sea la concentración de la misma en el aire. Así, en climas muy secos, el cuerpo tiende a perder humedad en busca de un equilibrio, pero como la humedad es



Higrómetro análogo



Higrómetro digital

necesaria para la vida, se desarrollan mecanismos naturales o artificiales para evitar la pérdida excesiva.

De acuerdo con la situación se humidifica o se deshumidifica. Una correcta humidificación, además de reducir el polvo en suspensión, permite a quienes se encuentran en ambientes cerrados respirar bien sin los problemas que derivan de la sequedad de las principales vías respiratorias. Además, la reducción de la evaporación cutánea que resulta de una correcta humidificación altera la sensación de frío y permite como consecuencia bajar la temperatura de los espacios, permitiendo de esta forma un ahorro en los gastos de calefacción y limitando la dispersión del calor entre el ambiente interno y el externo. El caso contrario es la deshumidificación: proceso a través del cual resulta posible disminuir o eliminar la humedad del aire.

De acuerdo con lo anterior, existe una relación muy directa entre HR, evaporación y temperatura. La humedad se registra por medio de higrómetros, termohigrómetros, termohigrógrafos y psicrómetros.

Higrómetro. Es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad relativa presente en el aire, en el suelo, en las plantas, en las edificaciones, dando una indicación cuantitativa de la humedad ambiental. Existen varios sistemas con mayor o menor

precisión según el modelo; uno es el higrómetro de absorción el cual utiliza sustancias químicas higroscópicas, las cuales absorben y exhalan la humedad, según las circunstancias que los rodean, el otro es el higrómetro eléctrico que está formado por dos electrodos enrollados en espiral entre los cuales se halla un tejido impregnado de cloruro de litio acuoso. Si se aplica a estos electrodos una tensión alterna, el tejido se calienta y se evapora una parte del contenido de agua a una temperatura definida, estableciéndose un equilibrio entre la evaporación por calentamiento del tejido y la absorción de agua de la humedad ambiente por el cloruro de litio, que es un material muy higroscópico. A partir de estos datos se establece con precisión el grado de humedad.

Termohigrómetro. Este equipo combina termómetro e higrómetro en un mismo cuerpo y brinda ambas lecturas simultáneamente. A través de la conexión para termoelementos tipo K tiene la posibilidad de detectar, por ejemplo, la temperatura de una pared con una sonda superficial. La memoria interna del termohigrómetro a través de la tarjeta SD (1 a 16 GB) le permite registrar los valores de humedad y temperatura, con un libre ajuste de la cuota de medición, sea para mediciones en tiempo real o para almacenamiento de datos. Con él se puede determinar el clima ambiental (humedad y



temperatura ambientales) además de determinar la temperatura superficial de paredes y productos simultáneamente por medio del sensor de temperatura externo que lleva consigo.

El termohigrómetro ofrece informaciones complementarias como el punto de rocío (temperatura de punto de rocío) y la temperatura de esfera húmeda. Con esta información se podrá evitar por ejemplo la proliferación de hongos en los alimentos durante su transporte o en el mismo almacén. También es muy útil en la medición de la humedad en los espacios interiores de las edificaciones.

pero refleja los valores obtenidos en un gráfico. Usualmente el sensor de temperatura es una placa bimetalica que por acción de la variación de la temperatura del aire genera una dilatación/contracción en las placas. Al ser de metales con diferente coeficiente de dilatación provocan un movimiento que es transmitido a un brazo. Este contiene en su extremo una pluma con tinta que traza en la banda de papel la temperatura.

Es un instrumento mecánico que posee en la base del tambor un mecanismo de relojería para que lo haga girar; posee un engranaje doble calibrado para que dé un giro completo en un día o una semana. Cuenta con un sensor de humedad relativa que está formado por un atado de crines de caballo

Termohigrógrafo. Similar al anterior,



o similar que es muy sensible a la variación de la humedad atmosférica que de manera similar al caso de la temperatura transmite el movimiento al brazo que con la pluma traza el papel.

La banda de papel posee un preimpreso con los días o las horas del día y la humedad relativa en % y la temperatura en °C o unidades, según el sistema de medida. Se utiliza en meteorología, confort higrotérmico para calefacción y aire acondicionado, clima interior en edificios, en arquitectura bioclimática, en museos donde se conservan objetos que se deterioran con la humedad, en otros donde la relación temperatura y humedad sea relevante.

Psicrómetro. Es un instrumento de mayor precisión que los anteriores y sirve para medir temperatura y humedad relativa. Su principio consiste en la lectura simultánea en dos termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo; dichos resultados se confrontan en tablas y se obtiene el dato de la humedad relativa con gran precisión. Este instrumento se usa para calibrar los higrómetros, también se utiliza en meteorología para medir la humedad o contenido de vapor de agua en el aire, distinto a los higrómetros corrientes. La humedad puede medirse a partir de la diferencia de temperatura entre ambos aparatos; el húmedo medirá una temperatura inferior producida por la evaporación de agua. Es importante para su correcto funcionamiento que el psicrómetro se instale aislado de vientos fuertes y de la luz solar directa.

A 21 °C, 1 Kg de aire seco puede contener hasta un máximo de aproximadamente 15,8 gramos de vapor de agua, que equivalen al 100% de HR.

La cantidad de agua que el aire puede retener cambia en función de la temperatura y crece al aumentar la temperatura del aire, esto se debe al hecho de que el aire se expande a medida que se calienta y se contrae a medida que se enfría. En consecuencia, mientras 1 Kg de aire seco a 21 °C puede contener hasta 15,8 g de vapor de agua, la

misma cantidad de aire a -18 °C puede retener solamente unos 0,92 g de vapor de agua. De acuerdo con esto, mientras que 1 m³ de aire a 23 °C puede retener 21,2 g de vapor de agua, el mismo m³ de aire a 0 °C puede retener sólo 4,5 g de vapor de agua. Por lo tanto, si se tiene 1 m³ de aire a 0 °C y 70% HR (3 g) y se aumenta su temperatura a 23 °C sin agregar vapor de agua, terminará con: $3 \text{ g} / 21,2 = 0,14$ (14% HR). Esta condición resulta muy similar a la del desierto del Sahara, la cual ronda el 12% HR (por supuesto que esto está muy por debajo de los mínimos recomendados).

Refrigerando 1 Kg de aire seco a 21 °C con el 50% de HR (aproximadamente 7,9 gramos), se alcanza la saturación (100% de HR) a 9,5 °C. Al contrario, aumentando la temperatura de 1 Kg de aire seco de -18 °C con el 100% de HR (aproximadamente 0,92 g) sin añadir más vapor de agua, a 21 °C se conseguirá el 6% de HR ($0,92/15,8 = 0,06$).

El aire seco puede convertirse en un problema cuando la temperatura externa baja a un valor menor que la interna, el aire frío y húmedo que entra en un edificio calentado se convierte en aire caliente y seco. Eso ocurre porque se desarrolla un fenómeno de reequilibrio de la humedad entre los objetos que se encuentran en el interior del ambiente y el aire con que entran en contacto.

La reducción de la humedad del aire es responsable de problemas muy conocidos, como sequedad de las principales vías respiratorias; fisurado de las estructuras de madera; descargas electrostáticas. Igualmente, un sistema de acondicionamiento o de refrigeración puede causar el aumento de la sequedad del aire, porque actúa enfriando el aire a un valor inferior al punto de rocío, eliminando la humedad (deshumidificación) y sucesivamente calentándola.

La única forma de evitar estos problemas es estabilizando el ambiente o controlando la humedad relativa. Esta es una de las razones por las cuales el control de la humedad relativa se está convirtiendo en una parte muy importante de la calidad del aire interior. Esto quiere decir deshumidificar

cuando el aire es muy húmedo y humidificar cuando se seca demasiado.

ZONAS CLIMÁTICAS Y CLIMA

La Tierra se ha dividido en zonas climáticas en función de las diferentes temperaturas y la luz solar que reciben. Estas diferencias se originan debido a los movimientos de rotación y traslación del planeta, así como a su esfericidad, su órbita elipsoide y la inclinación del eje terrestre. Estas zonas sirven de base a la clasificación de los climas terrestres. A su vez, dentro de cada una de estas zonas, cabe distinguir los tipos y subtipos de climas, que se establecen en función de dos elementos climáticos principalmente: la temperatura y las precipitaciones. En la Tierra existen dos zonas frías (en los polos), dos zonas templadas y una cálida (Figura 1.2).

- Dos zonas frías, en latitudes altas, situadas entre los círculos polares y los polos. Las regiones que están en las zonas frías tienen temperaturas muy bajas durante todo el año.
- Dos zonas templadas, en latitudes medias, situadas entre los trópicos y los círculos polares. En las zonas templadas,

las temperaturas son moderadas, suben en verano y bajan en invierno.

- Una zona cálida, en latitudes bajas, situada entre los dos trópicos. Las regiones que están en la zona cálida, tienen temperaturas muy altas durante todo el año; en ella abundan los desiertos.

Los climas desérticos y de alta montaña se dan en varias de estas zonas.

La diversidad de climas en el mundo puede ser aclarada a través de una correcta clasificación. Para realizarla se puede utilizar como criterio de partida las zonas térmicas (cálida, templada, fría), a partir de las cuales, y utilizando como factores diferenciadores la circulación atmosférica, la distancia al mar, la fachada continental y la altitud, se establece una tipología más asequible. Ésta es:

a. Zonas frías: Ubicadas entre el círculo polar y los 90° de latitud de cada hemisferio. En la zona fría, los rayos solares inciden paralelos durante todo el año. Comprende las áreas próximas a cada uno de los polos. Zona de altas presiones polares entre el polo y la isoterma de 0° C; frío intenso y constante; precipitaciones escasas y disminuyendo a medida que nos acercamos a los polos, en

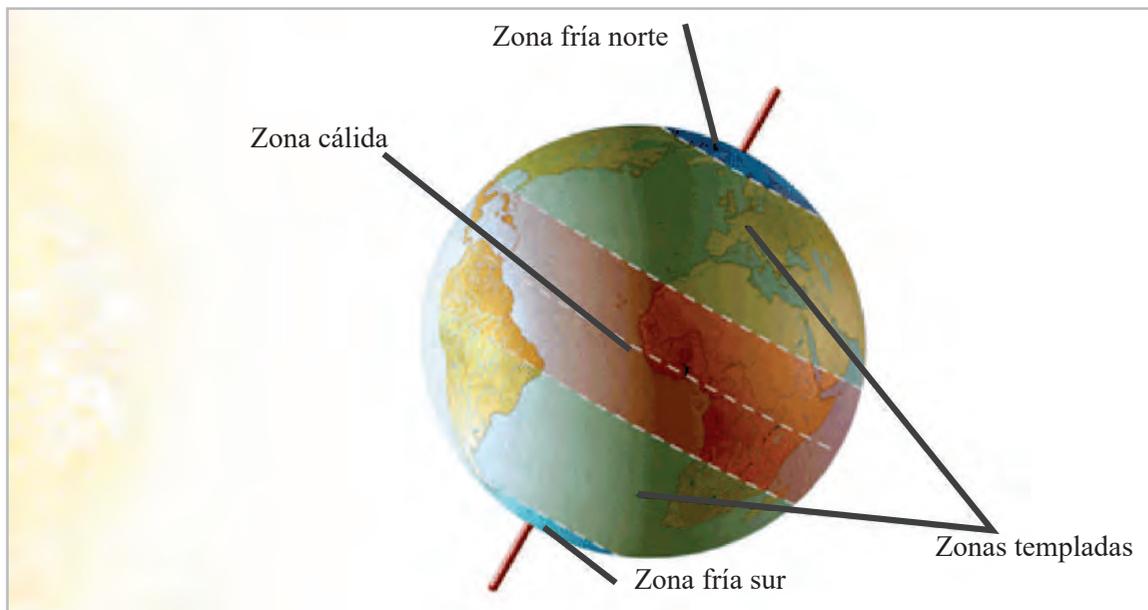


Figura 1.2 Zonas climáticas

forma de nieve la mayoría. En este clima ya no es posible que haya vegetación.

Las temperaturas están casi todo el año por debajo de 0°; sólo en verano adquieren valores positivos, que no sobrepasan los 4 °C.

- **Clima polar** (en ambos hemisferios, muy fríos). Climas polares: al norte del Círculo Polar Ártico y al sur del Círculo Polar Antártico. En estas zonas la situación es casi siempre anticiclónica porque las masas de aire frío descienden desde las alturas y se desplazan lateralmente hacia el sur (hacia el norte en el hemisferio sur). En estas zonas llueve muy poco, menos de 250 mm anuales (situación anticiclónica), por lo que se suele hablar de desiertos fríos, a pesar de que se mantengan cubiertos por hielos y nieve.
- **En las altas montañas** se dan climas de tipo polar; aparece representado en todos los lugares del planeta donde haya cordilleras que superen los 2.500 metros de altitud; en estos la latitud no influye, sólo afecta la altura y la exposición, los cuales son considerados factores que determinan un clima de montaña. Es característico de las cumbres más elevadas y de los altos valles andinos la vegetación de arbustos y gramíneas, que se dispone en pisos altitudinales y tiende a escasear con la altura para dejar paso a las nieves perpetuas. La vegetación es muy variable, de acuerdo con la latitud en que se encuentren ubicadas las montañas. Este tipo de clima, que normalmente es húmedo, lo podemos encontrar alrededor del mundo en zonas de grandes cordilleras, pudiendo ser frescos a fríos. Colombia, gracias a su posición geográfica, posee todos los pisos térmicos, variedad de climas, de especies animales y vegetales, etc.

b. Zonas templadas: Los climas templados son los propios de latitudes medias, y se extienden entre los paralelos 30 grados y 70 grados. Se distingue una Zona Templado-Cálida (entre los 20 y 30° de latitud) y una

zona Templado-Fría (entre los 40 y los 70° de latitud). Su carácter procede de los contrastes estacionales de las temperaturas y las precipitaciones, y de una dinámica atmosférica condicionada por los vientos del oeste. Las temperaturas medias anuales se sitúan entre los 15 °C y las precipitaciones van de 300 a más de 1.000 mm anuales.

Son las situadas al norte (hemisferio norte) o al sur (hemisferio sur) de las zonas tropicales. Justo al norte (o al sur en el hemisferio sur) de donde surgen los alisios, la misma masa de aire que al desplomarse desde la altura ha originado esos vientos, ocasiona también que parte de ese aire viaje hacia el noreste (o hacia el sureste en el hemisferio sur). Se forman así los vientos occidentales (de oeste a este) típicos de las latitudes templadas.

Las masas de aire que arrastran los vientos occidentales llegan a chocar con las masas de aire frío procedentes de las zonas polares y se desplazan montándose sobre ellas, al ser más calientes. Este ascenso provoca la formación de nubes y precipitaciones en el fenómeno meteorológico que llamamos borrasca. En las borrascas es típico que el aire al ascender adquiere un movimiento giratorio, formándose un frente cálido que suele ser seguido de otro frente frío. El paso de los frentes cálido y frío es el que trae las lluvias.

Las borrascas tienden a desplazarse de oeste a este, de tal manera que al paso de un frente cálido le suele seguir una mejoría transitoria y viene luego un frente frío con empeoramiento del tiempo que termina por alcanzar y neutralizar al frente cálido, produciéndose así la desaparición de la borrasca. Estas continuas variaciones generadas por la alternancia de anticiclones (altas presiones) y borrascas (bajas presiones) son las típicas del “tiempo” atmosférico de las zonas templadas.

Dentro de los climas templados distinguimos dos grandes conjuntos: los climas subtropicales, o templados-cálidos, y los climas templados propiamente dichos, o templados-fríos. A su vez, dentro de cada

uno de esos grandes conjuntos se engloban varios subtipos climáticos.

- **Clima oceánico** (en ambos hemisferios) o atlántico (zona atlántica europea, costas del Pacífico del noroeste de Estados Unidos y de Canadá, sureste de Australia, Nueva Zelanda, sur de Chile, costa de la Provincia de Buenos Aires, Argentina).
- **Clima mediterráneo** (en ambos hemisferios) (zona del Mediterráneo, California, centro de Chile, sur de Sudáfrica, suroeste de Australia).
- **Clima chino** (en ambos hemisferios).
- **Clima continental** (sólo en el hemisferio norte) (centro de Europa y China y la mayor parte de Estados Unidos, norte y noreste de Europa, sur y centro de Siberia, Canadá y Alaska).
- **Clima subtropical húmedo** (sudeste de Estados Unidos y Australia, sur de China, noreste de Argentina, sur de Brasil y Uruguay, norte de la India y Pakistán, Japón y Corea del Sur).

c. Zonas cálidas: La zona cálida se ubica entre los dos trópicos (en realidad, entre los 30° norte y los 30° sur de latitud, aunque la zona cálida se extiende unos grados más allá del área intertropical en ambos hemisferios). La zona cálida es el área intertropical (rayos solares perpendiculares durante todo el año). En la zona cálida se diferencian dos zonas: la zona ecuatorial o de convergencia intertropical y la zona tropical.

La zona ecuatorial se sitúa en las cercanías del ecuador; en ella, el aire cálido y húmedo tiende a ascender, especialmente con la insolación del día; al ir subiendo se enfría por lo que se forman grandes nubes que hacen que todos los días al atardecer se descarguen lluvias. La abundancia de lluvias y las elevadas temperaturas favorecen el desarrollo de la vegetación y es en esta zona en la que se desarrollan los grandes bosques selváticos. Esta zona climática no se sitúa a lo largo de todo el año en el mismo sitio, sino que sufre desplazamientos hacia el norte o hacia el sur, dependiendo de las estaciones

o empujada por los vientos monzones, que son especialmente fuertes en el sur de Asia.

En las zonas tropicales predominan los llamados vientos alisios que se forman cuando las masas de aire del norte o del sur se mueven para ocupar el espacio que deja libre el aire ascendente de la zona ecuatorial. Por el efecto Coriolis, en el hemisferio norte los alisios soplan predominantemente de noreste a suroeste, mientras que en el hemisferio sur lo hacen de sudeste a noroeste.

En altura la circulación del viento se hace en sentido contrario, hasta los 30° de latitud, aproximadamente, lugar en donde el aire, ya enfriado, se desploma hacia la superficie, cerrándose así las corrientes convectivas próximas al ecuador.

Las zonas tropicales situadas entre los 20° y los 40° de latitud, en las que el aire desciende desde la altura, se caracterizan por el predominio de las altas presiones (aire frío y denso que se acumula contra la superficie). Esto supone precipitaciones escasas, normalmente inferiores a los 250 mm anuales, ya que la circulación vertical descendente impide el desarrollo de nubes, pues el aire al bajar aumenta su temperatura y por lo tanto aumenta su capacidad de contener vapor de agua (mayor humedad de saturación). Por esto en estas zonas hay grandes extensiones desérticas en los continentes, tanto en el hemisferio norte como en el sur.

El clima cálido presenta elevadas temperaturas anuales, sin grandes variaciones estacionales. Predominio de bosques tropicales, selvas y sabanas (praderas de pastos altos con algunas especies arbóreas y arbustos aislados o que forman pequeños grupos). Los climas cálidos se localizan en las bandas ecuatoriales, tropicales y subtropicales del planeta, debidas, fundamentalmente, a una mayor influencia del sol sobre estas regiones, en las que los rayos de nuestra estrella inciden de manera casi perpendicular sobre la atmósfera, lo que proporciona un mayor calentamiento. La variación térmica anual es mínima. Las precipitaciones son de abundantes a excesivas. Es la zona afectada por huracanes. La vegetación difiere

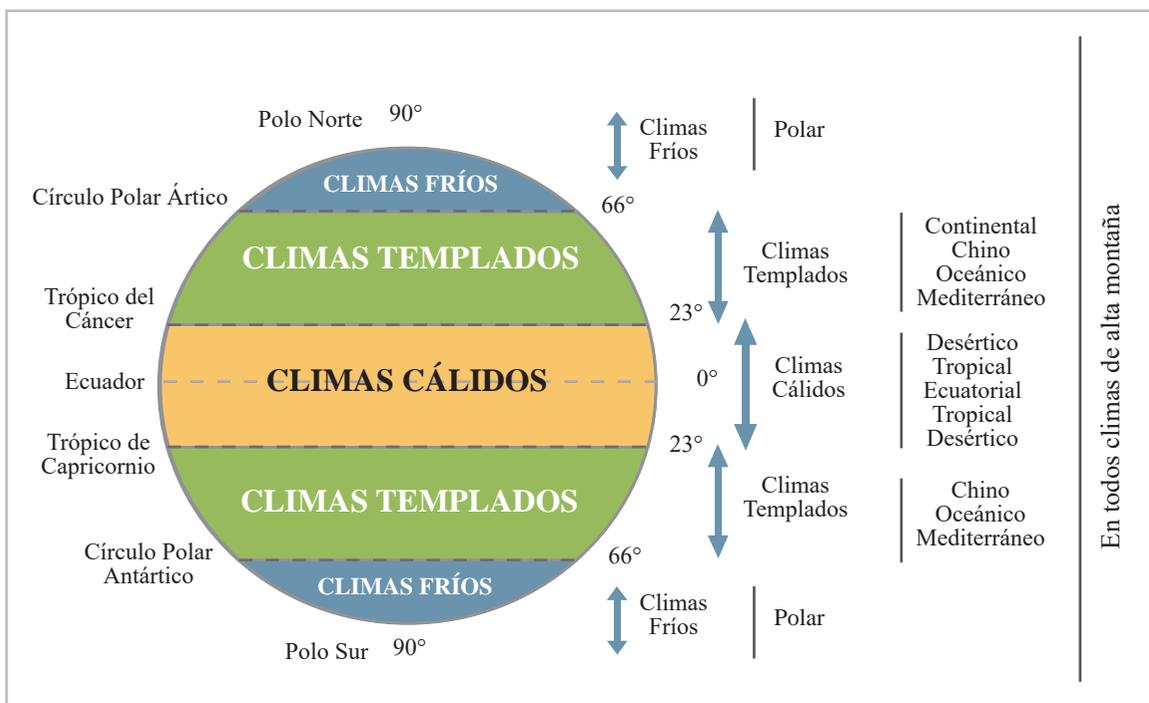


Figura 1.3 *Climas terrestres*

desde el bosque exuberante tropical hasta la sabana en zonas de estación seca como en Venezuela. En las zonas montañosas tropicales la altitud permite distinguir tres pisos térmicos: tierras calientes entre los 0 y los 1.000 m, tierras templadas entre los 1.000 a 2.000 m y las tierras frías por encima de los 2.000 m, donde se asienta preferentemente la población.

El movimiento estacional de las altas presiones subtropicales y las bajas ecuatoriales explica los cuatro tipos de clima que encontramos en la zona (ecuatorial, tropical, subtropical y desértico). Todo el sistema se desplaza estacionalmente: hacia el norte en el verano del hemisferio sur y hacia el sur en el invierno del hemisferio sur.

- **Clima ecuatorial** (región amazónica, parte oriental de Panamá, Península de Yucatán, centro de África, occidente costero de Madagascar, sur de la Península de Malaca e Insulindia).
- **Clima tropical** (en ambos hemisferios) (Caribe, Llanos y costas de Colombia, Costa Rica y Venezuela, costa del Ecuador, costa norte del Perú, la mayor parte

de este de Bolivia, noroeste de Argentina, oeste de Paraguay, centro y sur de África, sudeste asiático, norte de Australia, sur y parte del centro de la India, la Polinesia, etc. y la costa surcentral del Pacífico de México).

- **Clima subtropical árido** (suroeste de América del Norte, norte y suroeste de África, oriente medio, costa central y sur del Perú, norte de Chile, centro de Australia). Se ubica entre los climas desérticos subtropicales y las franjas de clima mediterráneo, del cual se distingue por una pequeña diferencia en cuanto a la lluvia recibida.
- **Clima desértico** (en ambos hemisferios) y semidesértico, este último también llamado clima estepario, se ubican en el interior de los continentes en la zona templada (Asia Central, centro-oeste de América del Norte, Mongolia, norte y oeste de China).

En el libro *Arquitectura y clima, referida a condiciones tropicales en Colombia* el arquitecto Harold Borrero (1989) dice:

La noción de clima tropical muy generalizada en los países templados carece de sentido, pues trata de englobar en uno solo, climas tan diferentes como los de la selva umbrofila, densa y húmeda, los de sabana, los de bosque seco de hojas caducas, los de malezas espinosas, los de estepas desérticas y las praderas de altas montañas.

Continúa:

Clima Tropical o Tibio-Húmedo. Es característico en Colombia de los grandes valles andinos del Cauca y el Magdalena. Se caracteriza por una humedad relativa alta (55% - 90%), lluvias periódicas con una o dos estaciones secas a lo largo del año. Las lluvias corresponden a los pasos del sol por el cenit y con duración de dos a tres meses. La iniciación de las mismas corresponde a los meses de abril y septiembre. Las temperaturas medias se encuentran alrededor de los 25 grados centígrados con variaciones altas entre el día y la noche, de 10 grados o más y variaciones estacionales que pueden llegar a 5 o 6 grados. Las temperaturas extremas pueden variar entre los 12 y 39 grados. Las lluvias son inferiores a los 2.000 mm anuales, con un promedio de 1.000 mm, si bien pueden presentarse lugares de 300 o 400 mm por año. Este tipo de clima caracteriza a la ciudad de Cali.

CLIMA Y EDIFICACIÓN

En Latinoamérica hay variantes climáticas de acuerdo con las particularidades de las diferentes regiones. No obstante, se pueden simplificar con el propósito de establecer las relaciones de la edificación con el clima, donde algunas variantes climáticas conllevan soluciones arquitectónicas similares. A partir de lo anterior se consideran los climas cálido-húmedos, cálido-secos y fríos; es necesario tomar en cuenta los componentes estacionales con las modificaciones, en ocasiones radicales, que introducen en una misma región a lo largo del año.

Desde que el hombre decide dejar de ser

nómada y convertirse en sedentario, tiene la necesidad de buscar un hábitat que le garantice seguridad y protección contra los embates del medio ambiente; ese lugar es la caverna. A partir de ese punto tenemos el inicio de la arquitectura, sencillamente porque el hombre modifica la caverna en su interior en cuanto a la selección de espacios, hace dibujos, en fin, adapta la caverna a sus necesidades. Llega un momento de nuestra prehistoria en que ese hombre abandona la caverna para desplazarse hacia otras regiones más favorables para su subsistencia. En esas nuevas regiones que el hombre habita no hay cavernas y se ve precisado a realizar los primeros intentos de construcciones para habitarlas. A través del tiempo esas construcciones se van perfeccionando y modificando de acuerdo con el clima imperante. Esa evolución de la construcción da origen a los siguientes fenómenos:

En las zonas frías: Las estaciones son muy marcadas y hay más tiempo de frío que de calor. La diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior es muy significativa, para ello usan la nieve depositada en los techos como aislante térmico, recubren las paredes con fibras naturales y complementan con sistemas tradicionales de calefacción natural. El criterio es separar la relación interior-exterior usando recursos disponibles en su medio.

En las zonas polares o glaciares: En los países glaciares se requiere buscar rompimiento de la relación interior-exterior. La vivienda típica, el iglú, es construida con bloques de hielo que funcionan como aislante térmico. Complementan con otros recursos para aumentar considerablemente la temperatura interior.

En las zonas desérticas: Al igual que en los casos anteriores, se evita al máximo la relación interior-exterior. Existe una notoria diferencia de temperatura entre el día (calor) y la noche (frío). La humedad relativa es muy baja, de manera que: 1) Construyen con muros gruesos para permitir que el calor del día sea transferido al interior en la noche. 2) Ventanas pequeñas sólo para ilu-

minación. No permiten mucha ventilación porque ésta eliminaría la humedad interior.

En las zonas tropicales: La situación es de mucho calor en el día, mucho calor en la noche, alta humedad relativa, lluvias fuertes, fuerte asoleamiento y otras. Las respuestas son un máximo de sombras y un mínimo de capacidad térmica. La hoja de palma permite el flujo de las brisas hacia el interior y la caña fresca no permite ganancia de sol. Garantiza una ventilación efectiva para reducir o eliminar la humedad y un mínimo de captación solar. Todas estas soluciones anteriores, vernáculos o tradicionales muestran una gran variedad de diseños relacionados con

las condiciones que rodean a un grupo de personas en un área determinada, así como con las interpretaciones simbólicas y culturales de esas condiciones por parte del grupo y su definición de confort. Esas edificaciones no son soluciones individuales, sino soluciones de grupos representativos de una cultura y su respuesta a las características de una región, su clima general y su microclima, sus materiales típicos y su topografía.

En términos climáticos una edificación tiene que responder al calor, al frío, a la radiación, al viento y otras presiones, y debe considerarse como elemento de confort ambiental (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Clima, región, ubicación

Relación: Clima - Región natural - Clima	Características del clima	Ubicación (América)	Región natural
Polar	Temperatura por debajo de los cero grados todo el año	Casquetes polares	Tundra
Frío	Superficie cubierta de hielo y nieve durante 6 meses, la temperatura más alta que llegan a tener es de 100	Regiones al sur de los casquetes y parte alta de montañas	Taiga
Templado	Diferencias notorias de temperatura entre las estaciones del año. Existe época de lluvia	En llanuras y mesetas América del Norte y países del cono sur	Bosques templados y praderas
Seco estepario	Llamado también semiárido, veranos calurosos e inviernos muy fríos	En centro de EE.UU. y norte de México	Estepa
Seco desértico	Escasez de agua y poca vegetación	Península de California, Chihuahua y Sonora	Desierto
Tropical	Temperaturas altas, abundantes lluvias	Regiones cercanas al ecuador	Selvas
Subtropical	Temperaturas altas, lluvias no tan abundantes, hay estación seca en invierno	Cercanas a las tropicales	Sabana