

Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática

Norma Sánchez Santillán¹ y René Garduño L.²

¹Depto. El Hombre y su Ambiente. UAM-Xochimilco santilla@correo.xoc.uam.mx.

²Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. rene@atmosfera.unam.mx

Recibido: 12 de septiembre de 2007.

Aceptado: 23 de enero de 2008.

Resumen

Se describen los diferentes sistemas de clasificación climática que se han desarrollado en el mundo; se reseñan las ventajas y desventajas de cada uno, y su aplicabilidad en regiones geográficas diversas. Asimismo, se analiza el Sistema de Köppen, que es el más usado a nivel mundial, y consecuentemente el Sistema Modificado de García, que es una adaptación de aquél a las particulares condiciones orográficas de la República Mexicana, donde tiene un amplio uso, extensivo a Centro y Sudamérica.

Abstract

The several climate classification systems developed in the world are described; the advantages and disadvantages of each one, and their applicability in diverse geographic regions are reviewed. In like manner, the Köppen's System, which is the most used worldwide, is analysed, and consequently the García's Modified System, that is an adaptation of the former to the particular orographic conditions of the Mexican Republic, where it has wide use, extended to the Central and South America,

Introducción

La Climatología, antes rama de la Geografía, ha realizado diversas caracterizaciones climáticas tanto a nivel mundial como regional, a partir del agrupamiento sistemático de los elementos del clima en clases según sus relaciones comunes; si bien todas las clasificaciones emplean diversos parámetros —comunes en muchos de ellos— la dificultad reside en establecer criterios generales que resulten representativos.

La primera y más generalizada regionalización se debe a los griegos, ésta dividía cada hemisferio de la Tierra en tres grandes zonas climáticas basándose en

la distribución de las temperaturas: tropical, templada y polar; tomando en consideración las diferencias latitudinales de la radiación solar (la palabra griega *klíma* significa inclinación). Posteriormente se renombraron como zonas tórridas, templadas y frías.

Aparentemente, el mayor avance sobre el tema de las clasificaciones climáticas fue introducido por Alexander Supan en el siglo XIX, quien basó su zonificación en las temperaturas reales en vez de las teóricas y estableció tres categorías, que se distribuyeron en grandes franjas latitudinales: el cinturón caliente (en la porción del ecuador térmico), dos cinturones templados (que abarcaron hasta los trópicos de Cáncer y Capricornio) y dos cinturones fríos (contiguos a los templados y que llegaron hasta los polos boreal y austral); asimismo, Supan dividió al mundo en 34 provincias climáticas, sin intentar relacionar climas similares de diferentes localidades.

Desde entonces se observan dos tendencias principales de clasificación: las clasificaciones *genéticas*, fundamentadas en los factores que generan la diversidad climática (como radiación solar, circulación de la atmósfera y masas de aire), y las llamadas *empíricas*, basadas en elementos del clima combinados en índices (grado de humedad y temperatura, por ejemplo). Así, la clasificación griega es genética y la de Supan es empírica.

Independientemente de la tipificación empleada, los sistemas de clasificación climática son una herramienta fundamental para los biólogos en los trabajos de ecología, botánica, zoología y evolución; asimismo, son empleados en otras áreas del conocimiento, como agronomía, veterinaria, medicina, ingeniería, arquitectura y economía, por mencionar algunas; donde las sequías y las inundaciones dañan los cultivos y al ganado, propician el brote de enfermedades, así como daños en la infraestructura, tanto en viviendas como en servicios públicos, con el

consecuente impacto humano y económico. En el caso particular de México el sistema más usado en todas esas áreas es el denominado Sistema Modificado, que es una adaptación del Sistema de Clasificación Climática de Köppen.

Tres clasificaciones sudamericanas

En Sudamérica, se hicieron tres trabajos locales de clasificación, el primero de ellos ideada por el colombiano Francisco José de Caldas en 1802, donde consideró únicamente la variación de la temperatura con la altura (pisos térmicos) y su aplicación se restringió al trópico americano. El segundo elaborado por Salomón Serebrenick, hacia la primera década del siglo XIX llamado *Aspectos Geográficos do Brasil*, también conocido como *O clima, a terra e o homem*. El tercero es el de Walter Knoche denominado *Clima Decimal* desarrollado en Argentina en 1929. Las tres tienen el defecto de la singularidad, la aplicación local y, por ende, carecen de importancia internacional.

Clasificaciones de Lang y Schaufelberguer

Richard Lang estableció en 1915 una clasificación basada en el volumen de la precipitación anual (acumulada) expresada en milímetros y la temperatura promedio en grados Celsius. El cociente del primer parámetro entre el segundo es el denominado Índice de Lang (Precipitación acumulada / Temperatura promedio), a partir del cual se obtienen seis tipos de clima. En la actualidad el índice se utiliza ampliamente como una medida del grado de aridez de una región, más que como un sistema de clasificación climática. Paul Schaufelberguer en 1962 se dio a la tarea de unir la clasificación de Lang con la clasificación de Caldas y obtuvo 25 tipos de climas que tienen en cuenta la elevación del lugar, la temperatura media anual y la precipitación total media anual.

Clasificación de Copen (Köppen)

El Sistema de Köppen se basó en la obra de A. de Candolle denominada *Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt*, editada en 1900 en el *Geographischen Zeitschrift*, donde se establecía una relación entre el clima y la distribución de la vegetación de los grandes biomas. Hacia 1918, después de varias publicaciones con minuciosos análisis acerca del tema, el climatólogo alemán Wilhelm Köppen, saca a la luz la obra *Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf*, la cual dio origen a la carta de climas que apareció por primera vez en el *Gran Atlas Soviético Mundial* edita-

do en Moscú en 1937 (láminas 38 y 39). Dicho autor concibió la idea de que las plantas constituyen indicadores climáticos y su distribución define las regiones climáticas. Está basada en el uso de la temperatura media (en grados centígrados o Celsius) y la precipitación acumulada en (milímetros); considera una estación de verano entre abril y septiembre y una de invierno entre octubre y marzo para el hemisferio norte, y lo opuesto para el sur (ocasionado por el doble desplazamiento de las celdas de alta presión).

El autor define cinco grandes clases climáticas que se distinguen por el uso de letras mayúsculas: A (climas tropicales lluviosos), B (climas secos), C (climas templados o mesotermiales), D (climas boreales) y E (climas de nieves perpetuas). A su vez cada uno de los cinco grupos está subdividido en otros, mediante el uso de varios índices (como el de Lang), lo que da por resultado 13 tipos fundamentales de climas designados por la combinación de dos letras; que a su vez pueden dividirse en otros subgrupos a partir de una tercera letra, lo que detalla aún más los distintos climas. El Sistema de Köppen es de uso corriente en todo el mundo y aparece prácticamente en todos los capítulos de descripción climática a escala mundial en los libros de geografía, incluyendo los de México.

Dos derivaciones del Sistema de Köppen: Martonne y García

Emmanuel de Martonne publicó en 1937 el capítulo VI *Types de Climats*, del libro *Traité de Géographie* que constituye una reproducción con modificaciones —poco acertadas— del de Köppen; propone el empleo de un índice de aridez (I_M) que utiliza la precipitación total anual (P) en mm, la temperatura media (T) en °C, la precipitación del mes más seco (Ps) en mm y la temperatura de ese mismo mes (Ts) en °C, a partir de lo cual se obtienen seis tipos de climas. Dicha propuesta estuvo en boga en Francia, su país de origen, hasta hace unas cuantas décadas para ser sustituida, actualmente por el Sistema original de Köppen.

El Sistema Modificado, elaborado por la geógrafa mexicana Enriqueta García Amaro y publicado en 1964, es una adaptación del Sistema de Köppen y surge debido a que ninguno de los sistemas de clasificación incluyendo ese, era lo suficientemente detallado para poder expresar, de manera cartográfica, la enorme variedad de climas presentes en México, donde las características fisiográficas de éstos

cambian en distancias relativamente cortas a consecuencia de los grandes accidentes orográficos que actúan sobre los elementos climáticos, como los efectos de barrera, que modifican tanto la temperatura como la distribución de la lluvia. Por su parte, el Sistema de Köppen fue concebido para explicar los climas en amplias zonas geográficas extendidas esencialmente en latitud, más no en altitud; el mismo autor incluye una frase muy significativa al respecto: “*Hasta ahora nosotros (refiriéndose al grupo de trabajo de Köppen) no hemos tomado en consideración las diferencias entre los climas de las llanuras de las latitudes superiores y los de las montañas de las bajas latitudes, en consecuencia, no hay correspondencia a escala regional con las condiciones particulares de sus regímenes de lluvias y sus condiciones de temperatura.*”

Lo anterior explica la aparente contradicción que se observa en la carta de climas de Köppen, en la que no se detectan climas fríos del tipo C (templados) y E (fríos) en latitudes tropicales de ambos hemisferios, que corresponden a las regiones con amplias cordilleras, como sería el caso tanto de América del Norte como del Sur; asimismo, en el Altiplano Mexicano, una vasta meseta localizada entre dos grandes cordilleras que abarca más del 60% del territorio nacional, se manifiesta el efecto de barrera, lo que explica su condición seca; sin embargo, tampoco queda expresada en la carta de climas de Köppen. Para resolver este problema, García y sus colaboradores propusieron en 1961 el uso de la planta llamada gobernadora (*Larrea tridentata*), cuya distribución incluye las regiones áridas de norte de México y sureste de Estados Unidos, y a la gobernadora de la especie *Larrea divaricata* en el hemisferio sur del mismo continente, como indicadores de las regiones áridas, ya que es una de las plantas más características de estos biomas. Cuando se analizó la distribución de la gobernadora en relación con las zonas climáticas establecidas de acuerdo al Sistema de Köppen, García y colaboradores detectaron que el área geográfica de dicha planta es mayoritariamente coincidente, con los climas secos (BW) establecidos por Köppen alrededor del mundo.

Fue a partir de esta observación que se eligió a la *Larrea sp.* como elemento fundamental para hacer las adecuaciones del Sistema de Köppen a la República Mexicana. Con el fin de delimitar las regiones de transición existentes entre los climas fríos y los templados, así como las diferencias entre los climas secos, particularmente los del tipo BS, partiendo de la

premisa de que el tipo de clima es más determinante que la composición del suelo en lo que a distribución de dicha planta se refiere (García, *et al.*, 1961), motivo por el cual se incorporaron al Sistema Modificado dos subtipos climáticos dentro del grupo de los secos que corresponden al BS_0 y al BS_1 . Como es natural, existe una mayor efectividad en el aprovechamiento de la precipitación por parte de la vegetación en este tipo de climas, lo que originó la incorporación de parámetros intermedios para delimitar los climas tipo BW respecto del BS y este último, de los templados, designados con la letra C.

En las regiones antes mencionadas, la variabilidad tanto anual como interanual de la temperatura y la precipitación oscila en un intervalo muy amplio, por lo que Köppen, para poder relacionar ambas variables de manera gráfica en una misma escala, decidió expresar la altura de la segunda en centímetros, lo que se aproxima a un valor aproximado de dos veces la temperatura ($2t$), donde t representa el promedio de la temperatura anual en °C para regiones con lluvias predominantes en invierno; pero si las lluvias preponderan en verano donde además coinciden con las temperaturas más altas del año el valor de r se asemeja mayormente a $2t + 14$. De acuerdo a la distribución de la precipitación en latitudes intermedias como México, donde existen regímenes de lluvia de verano, intermedios y de invierno, por lo que fue necesario incorporar al sistema original las ecuaciones: $r = t + 10.5$ y $r = 2t + 21$, con lo cual quedan contempladas todas posibles relaciones entre los valores de temperatura y precipitación.

Si bien la propuesta de García sigue los lineamientos generales de la clasificación original y emplea incluso todos los símbolos y fórmulas de Köppen, incorpora además, una serie de elementos que permiten subdividir algunos de los tipos climáticos fundamentales para caracterizar de manera más detallada las variantes climáticas; introduce además, un índice de estiaje dentro de la temporada de lluvias con régimen de verano, para evaluar la intensidad de un fenómeno que se registra en latitudes tropicales de distintas regiones del planeta, ocasiona el descenso relativo de la lluvia dentro de dicha temporada y es conocido como canícula, sequía intraestival, sequía de medio verano o veranillo; considera además, el porcentaje de lluvia invernal con respecto al anual, con el objeto de deslindar variantes particulares a escalas local y regional; esto permite una delimitación óptima entre los regímenes de lluvia tanto de verano co-

mo de invierno, a los que genéricamente se les engloba dentro de los climas monzónicos a los primeros y mediterráneos a los segundos. Lo anterior facilitó la evaluación de la distribución de la lluvia a lo largo del año para establecer los límites entre los climas húmedos y secos, por otro lado, fue necesario detectar los máximos en la distribución de la temperatura respecto al paso del Sol por el cenit.

El Sistema Modificado establece subdivisiones de los distintos tipos de climas de Köppen a través de métodos estadísticos de agrupación semejantes a los usados por el autor original, donde se consideran series de valores formadas por cocientes que relacionan los dos elementos más importantes del clima: la temperatura y la precipitación; con la finalidad de delimitar con mayor precisión los tipos de climas de acuerdo al régimen de lluvias, facilitando así la clasificación correcta de áreas geográficas de transición con lluvias en cualquier época del año; aspecto que no fue considerado por Köppen.

Si bien las características fundamentales de algunos tipos climáticos de Köppen como los *Am*, *Aw*, *BS*, *BW* y *Cs*, se pueden aplicar a México, casi en su forma original, los tipos *Cw*, *Cf* y *E* no pueden aplicarse de igual forma; estos tipos de climas se localizan en las montañas de la parte central y sur de México y, precisamente, por hallarse dentro de la zona tropical tiene algunas características muy distintas a aquellos climas *C* (templados) y *E* (fríos) de las latitudes medias o boreales, que son los que Köppen trató de describir mayoritariamente en cuanto a amplias extensiones geográficas en sus cartas.

Es importante destacar que con el Sistema Modificado se alcanza una descripción muy detallada de las condiciones climáticas no sólo de México en donde es empleado ampliamente por biólogos, geógrafos y agrónomos, sino también de otras regiones de Centro y Sudamérica donde se ha ido extendiendo el uso de dicho sistema.

Sistema Thornthwaite

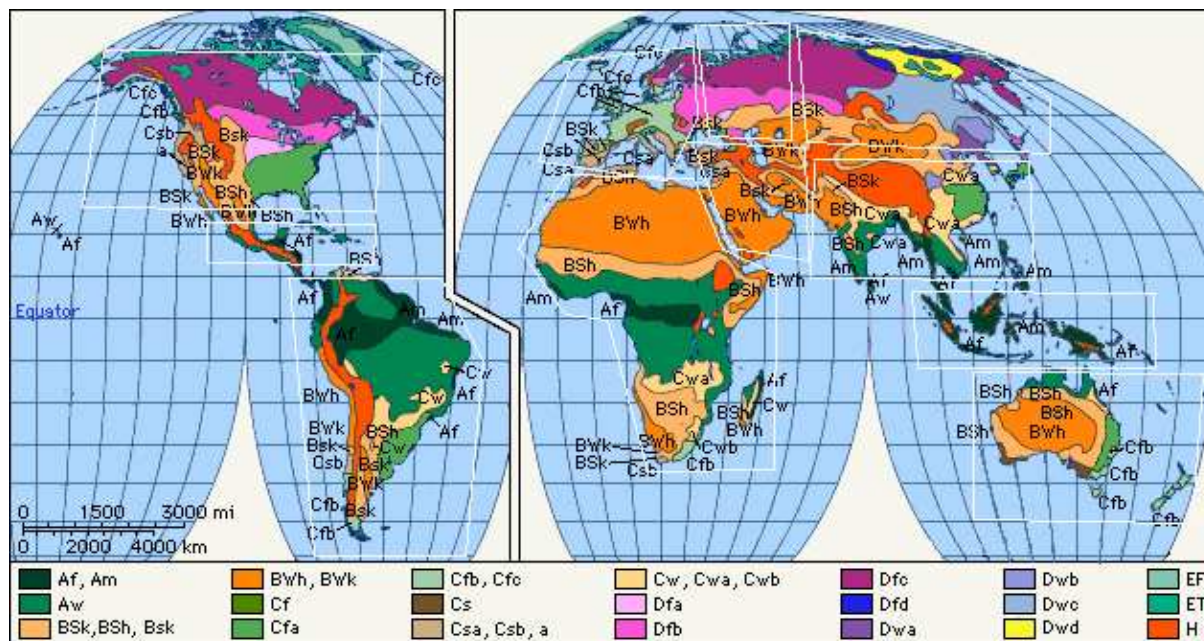
El Sistema de C. W. Thornthwaite se dio a conocer en Nueva York en dos trabajos: *The Climates of North America according to a new classification*, en la revista *Geographical Review* en 1931 y *The Climates of the Earth*, en la misma revista en 1933; posteriormente y tras concluir que el sistema de Köppen no era útil como método de clasificación de los climas forestales, ya que los valores de precipitación y temperatura no constituyen por sí solos parámetros climáticos para el control de la vegetación, el

autor desarrolla y publica en colaboración con Mather en 1955, lo que en la actualidad se denomina Sistema Thornthwaite. En este sistema se incluyen estimaciones de la pérdida de agua por *evapotranspiración potencial*, como saldo de la precipitación; esto es, la evapotranspiración que ocurriría si hubiera una disponibilidad adecuada de agua en forma continua y, enumera, cuatro factores responsables de la evapotranspiración:

1. El suministro de energía externa a la superficie que evapora (principalmente la radiación solar).
2. La capacidad del aire de eliminar el vapor (que depende de la velocidad del viento, la estructura de la turbulencia y la disminución de la concentración de vapor con la altura).
3. La naturaleza de la vegetación (especialmente su capacidad de reflejar la incidencia de la radiación, ocupación del suelo y profundidad del sistema radicular) y
4. La naturaleza del suelo (especialmente la cantidad de agua en la porción de las raíces).

El primer paso para determinar el potencial de evapotranspiración, se lleva a cabo con un diagrama que los mismos autores proporcionan y es la resultante de la determinación del *índice calórico* que, sumado a los valores derivados del promedio de la temperatura aporta un valor específico. Una vez que se determina dicho índice, la razón posible de la evapotranspiración (no ajustada para el largo del día) se obtiene de otro diagrama para cada temperatura media mensual. Cada valor del potencial mensual de evapotranspiración no ajustado se multiplica por un factor de acuerdo a la longitud del día.

A partir de estas relaciones, y asumiendo un almacenaje de 30 cm de agua en el suelo, Thornthwaite y Hare desarrollan un balance de agua que incluye la evapotranspiración real mensual y los meses con déficit y excedente de agua. El resultado se expresa en dos diagramas que se utilizan para cotejar los resultados del lugar a clasificar; asimismo, Thornthwaite desarrolló el índice de humedad (I_m); sin embargo, los intervalos que se obtienen de dicho índice no resultan confiables en una buena parte de los cálculos, por otro lado, los valores de los índices caloríficos sólo abarcan regiones entre 10 y 30°C; es importante señalar que el sistema, fue recibido con serias objeciones por climatólogos de todo el mundo



Los climas del mundo del Sistema de Köppen

por la complejidad de su uso y la poca confiabilidad del mismo; en la actualidad sólo es empleado por el Departamento de Climatología de la Secretaría de Agricultura de Estados Unidos.

Sistema Holdridge

Holdridge publica en 1947 un diagrama de clasificación de zonas de vida mundiales que, con modificaciones posteriores hechas por el mismo autor, se ha aplicado en varios países del trópico. Las zonas climáticas se definen mediante límites progresivos del promedio de la precipitación anual y del promedio de la biotemperatura anual. Esta última se deduce para un año promedio a partir de la suma de todas las temperaturas horarias registradas entre 0 y 30°C (los límites supuestos para el crecimiento de las plantas) y dividido por la cantidad total de horas en un año.

Una de las ventajas principales del sistema Holdridge es que está basado en parámetros climáticos que se tienen al alcance en la actualidad: la precipitación media y la biotemperatura anuales. Esta última, sin embargo, puede convertirse en un problema si la estación climatológica no reporta la temperatura horaria. Este sistema difiere de los demás por su escala geoméricamente progresiva y tiene poco uso, dado el requerimiento de los registros de sus variables.

Sistema Walter

En 1964 Walter desarrolló unos diagramas de los climas mundiales con láminas superpuestas de temperaturas y precipitaciones en una escala vertical, para lo cual igualó 10°C a 20 mm de precipitación. En estos diagramas, la estación a clasificar se identifica en la parte superior, seguida de su elevación en metros. A la derecha se encuentran las medias de temperatura en grados °C y a la derecha la precipitación anual en mm. La cantidad de años abarcados por el registro se indica debajo del nombre de la estación. En el borde inferior izquierdo se encuentra la temperatura media del mes más frío y por debajo, la temperatura mínima. El eje horizontal incluye los meses del año, con la estación más calurosa al centro (de naturaleza opuesta en los hemisferios sur y norte).

Este sistema demuestra el patrón estacional de la disponibilidad de humedad, sin estimar el potencial de evaporación ni la capacidad de almacenaje del suelo. Los mapas mundiales con diagramas para la mayoría de las regiones, acompañados por datos de altitud, temperatura promedio y precipitación anual, facilitan las comparaciones entre amplias regiones climáticas. El sistema conforma nueve zonas climáticas desplegadas en bandas latitudinales.

El autor señala que las temperaturas medias decrecen con más rapidez hacia el sur que hacia el norte, a partir del Ecuador, aunque las diferencias estacionales se presentan con mayor lentitud debido al efecto amortiguador de la pequeña masa terrestre del hemisferio sur. Por la misma razón, las temperaturas aumentan tierra adentro con la distancia desde la costa. Si bien el sistema es interesante, tuvo poca difusión y actualmente tiene poco uso.

Conclusión

Existe una diversidad en cuanto a los sistemas de clasificación climática, algunos incluso, actualmente están en desuso; sin embargo, la selección para su empleo depende del objetivo que se persiga; actualmente, el Sistema Modificado ha ido ganando terreno paulatinamente respecto al Sistema de Köppen, sobre todo en el caso de trabajos regionales donde la fisiografía del terreno es accidentada; no así para los trabajos mundiales donde este último mantiene una amplia vigencia; asimismo, la facilidad o la dificultad de su empleo determinan, en buena medida el uso de cada sistema.

Referencias

1. García, E. 1964. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Ed. Offset Larios. México. s/p.
2. García, E. 1998. Carta de climas de la República Mexicana. Escala 1:1000 000 en tres colecciones de 16 hojas c/u de Temperatura, Precipitación y Climas. CONABIO, México.
3. García, E. y P. Mosiño. 1868. Los climas de Baja California. En: Memoria 1966-67 del Comité Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Instituto de Geografía, UNAM, México, 29-56 pp.

4. García, E., R. Vidal y M. E. Hernández. 1989. Las regiones climáticas de México. En García de Fuentes, A. (ed.). Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, vol. 2, cap. IV, núm. 10, Mapa escala 1:12 000 000.
5. García, E.; C. Soto y F. Miranda. 1961. Larrea y Clima. *Anales Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Mexico. Bot.* 31: 137-171.
6. Köppen, W. 1948. *Climatología*. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, P. 233.
7. Mosiño, P. y E. García. 1969. Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana. Unión Geográfica Internacional, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, tomo III, 500-516 pp.
8. Thornthwaite, C. W. y J. R. Mather. 1955. The water balance. *Publications in Climatology*. 8(1). Centerton, N. J. s/p.
9. Vidal, Z. R. 2005. *Las Regiones Climáticas de México*. Colección: Temas Selectos de Geografía de México. Serie 1. Textos Monográficos. 2. Naturaleza. UNAM. México. P. 206.
10. Walter, W. GW. y M. Lieth. 1960. Klimadiagram Weltatlas. Veb Gusta Fisher Verlag. Ic. P. 218.