

queñas zonas del continente donde las rocas están al descubierto, así como de núcleos extraídos de los sedimentos de los lagos.

Cooperación con otras organizaciones

La investigación en muchos aspectos de la climatología del Antártico se ha iniciado y planificado por varios organismos internacionales. La OMM y el CIUC iniciaron conjuntamente el Programa Mundial de Investigación Climática, que tiene una importante componente para el Antártico, especialmente con respecto al hielo marino como “memoria” climática y sistema de realimentación. La CCA copatrocinó en 1982 un estudio del hielo marino con el CCM y el CCCO. Más recientemente, la COI y el SCOR ampliaron el área de acción del Experimento Mundial sobre la Circulación Oceánica (WOCE) para incluir las interacciones entre el hielo y el océano en las altas latitudes australes.

El SCAR mantiene grupos de trabajo para la investigación tanto del clima como del hielo marino, y la AIMFA tiene su comisión sobre meteorología polar. El grupo de trabajo del Consejo Ejecutivo sobre meteorología antártica trata de mantenerse en estrecho contacto con estos organismos, con objeto de estar en condiciones de facilitar al Consejo Ejecutivo el asesoramiento adecuado sobre la política futura de la OMM en lo referente a investigación y operaciones en la Antártida.

Conclusión

El amplio reconocimiento que se da a la Antártida como componente geográfico importante en programas internacionales tales como la VMM, el PMIC y el WOCE, y la dependencia de la logística en la región del tiempo y el clima, aseguran a la meteorología antártica un lugar importante dentro del amplio espectro de las ciencias de la atmósfera. La OMM coopera activamente con otros organismos internacionales y con las naciones del Tratado del Antártico en la ampliación de nuestros conocimientos sobre el clima y la meteorología del continente y sobre las aplicaciones prácticas de estos conocimientos.

DEFINIENDO EL CLIMA

*Por W. J. GIBBS**

La noción del clima

En cualquier campo de estudio es útil, de tiempo en tiempo, volver a examinar los conceptos ligados a palabras aparentemente sencillas, que se utilizan con frecuencia por los especialistas de ese campo en particular y por el público en general. A menudo quedamos sorprendidos por las importantes diferencias de concepto que se ponen así de manifiesto.

Una investigación sobre la interpretación de términos tan comunes como “tiempo” y “clima” pueden parecer un ejercicio de pedantería semántica. Sin embargo, si se ha creado

* El Dr. Gibbs fue Representante Permanente de Australia ante la OMM, desde 1962 a 1978, y presidente del Grupo de Expertos del Comité Ejecutivo sobre el cambio y la variabilidad climáticas, desde 1976 a 1978. Puede encontrarse una entrevista con él en el Boletín de la OMM **34** (3), págs. 213-216.

una importante ambigüedad en la utilización de dichos términos (y este artículo pretende demostrar que así es), tiene mérito la exploración de las definiciones para evitar serias equivocaciones.

El término “tiempo” será utilizado aquí para indicar el estado de la atmósfera (presión, temperatura, humedad, viento, etc.) sobre una localidad o región dadas durante un período cronológico determinado (minuto, hora, día, mes, estación, año, decenio, etc.).

El término “clima” se usa para indicar la probabilidad estadística de ocurrencia de los distintos estados de la atmósfera (presión, temperatura, humedad, viento, etc.) sobre una localidad o región dadas durante un período cronológico determinado.

La diferencia esencial entre estas dos definiciones es que el tiempo está relacionado con el estado de la atmósfera durante un período específico, y solamente uno, mientras que el clima está relacionado con la posibilidad estadística de ocurrencia de los distintos estados de la atmósfera durante un período cronológico especificado. Esta última definición impone que no haya cambios de importancia en el clima, tales como los que han tenido lugar en el pasado para escalas cronológicas de milenios.

Un concepto significativamente diferente de tiempo y clima surgió en relación con el acuerdo firmado, en 1967, entre el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) y la OMM, para el Programa de Investigación Mundial de la Atmósfera (GARP).

Los objetivos del GARP eran estudiar: (a) las fluctuaciones de la atmósfera a gran escala que gobiernan los cambios del tiempo, con el fin de aumentar la exactitud de la predicción para períodos de un día a varias semanas; (b) los factores que determinan las propiedades estadísticas de la circulación general de la atmósfera, lo que conduciría a un mejor conocimiento de las bases físicas del clima.

La ambigüedad que se creó respecto a las nociones de tiempo y clima, se ilustra por los siguientes extractos de un informe preparado por el Comité para el GARP de los EE.UU. (1975). La página 19 del informe define “estado climático” como:

... la media (junto con la variabilidad y otros parámetros estadísticos) del conjunto completo de variables atmosféricas, hidrosféricas y criosféricas en un dominio especificado del sistema Tierra-atmósfera. Se entiende que el intervalo cronológico debe ser considerablemente mayor que el período de vida de los sistemas meteorológicos sinópticos (del orden de varios días), y mayor que el límite teórico para el cual puede predecirse la atmósfera de forma local (del orden de varias semanas). Podemos por ello hablar, por ejemplo, de estados climáticos mensuales, estacionales, anuales o decenales.

Asimismo, leemos esto en la página 20 del informe:

... los estados climáticos representan realizaciones o muestras definidas del clima (más que el clima *per se*) y son comparables con los climas simulados mediante los experimentos numéricos de la circulación general. ... A menos que se indique otra cosa en el informe, el uso de la palabra “clima” debe considerarse como una abreviatura de “estado climático”.

Los que participaron en la componente de investigación del clima del GARP, acordaron considerar el clima como la descripción del tiempo en un mes particular, año o decenio y, a sus ojos, la distinción entre tiempo y clima estaba relacionada fundamentalmente con el período de predictibilidad utilizando los sistemas de predicción numérica del tiempo. Dicho uso de los términos llegó a ser grande en la literatura GARP y surgió la ambigüedad (y aún persiste) en el uso del término “clima” en la literatura meteorológica en general. El problema aparece ilustrado por las siguientes observaciones de Schneider (1977):

Yo estaba en un grupo de modelistas que deseaban dirigir todos los resultados sobre las teorías del clima. Antes de hacerlo, pensamos que debíamos perder un minuto y acabar con los problemas de la definición

del clima. Recuerdo que, cerca de tres horas más tarde, continuábamos aún discutiendo acaloradamente la definición y llegamos a la conclusión de que es una serie cronológica que tiene un largo registro de algún fenómeno climático.

Las actas de la Conferencia Mundial del Clima (1979) adoptaron las siguientes definiciones:

Tiempo, está asociado al estado completo de la atmósfera a una hora especificada y a la evolución de este estado a través de la generación, crecimiento y decadencia de las perturbaciones individuales.

Clima, es la síntesis de los fenómenos meteorológicos en todo un período suficientemente largo, estadísticamente, para establecer su conjunto de propiedades estadísticas (valores medios, varianzas, probabilidades de los fenómenos extremos, etc.) y es en gran parte independiente de cualquier estado instantáneo.

La definición más común y permanente del clima es la de “tiempo medio”, pero tanto Kendrew (1930) como Conrad (1944) resaltaron la importancia de examinar las distribuciones de frecuencia de los elementos meteorológicos así como las medias. Como veremos más adelante, incluso la combinación de la desviación típica con la media (media aritmética) puede, frecuentemente, ser una medida totalmente inadecuada del clima.

Métodos de análisis estadístico para definir el clima

Es imposible utilizar la definición que sugiero al principio de este artículo (es decir, la probabilidad estadística de ocurrencia de los distintos estados de la atmósfera sobre una localidad dada durante un período determinado), para describir el clima sin algún tipo de análisis estadístico de los distintos parámetros meteorológicos que indican el estado de la atmósfera.

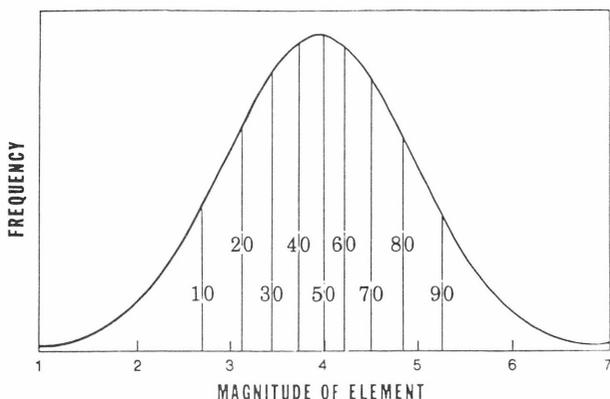


Figura 1.- Ejemplo de una distribución de frecuencias gaussianas con deciles.

A menudo nos referimos al definir el clima, a la distribución de frecuencias de las variables meteorológicas dentro de intervalos de clase específicos. La distribución de frecuencias clásica es la gaussiana, a menudo denominada como distribución “normal” (pero que está muy lejos de lo normal en el caso de las distribuciones de frecuencia de muchos elementos meteorológicos). La distribución gaussiana está determinada únicamente por el valor \bar{x} (que es la media aritmética de la variable x) y por la desviación típica (raíz cuadrada de la media de los cuadrados de $\bar{x} - x$). La Figura 1 muestra la distribución de frecuencias gaussianas de una hipotética variable meteorológica x , a la que aquí se ha asignado un valor de la media aritmética de 0,4 unidades y una desviación típica de una unidad.

Como la distribución de frecuencias es gaussiana, en este hipotético caso, podemos utilizar cualquier conjunto normalizado de tablas matemáticas para obtener la probabilidad de

ocurrencia de x , dentro de un recorrido de valores determinado. Por otra parte, podemos utilizar las tablas para determinar el valor de x que tiene una probabilidad dada de ser (o de no ser) superado. Si, como se indica en la *Figura 1*, dividimos el área encerrada bajo la curva en diez partes iguales, los valores de x correspondientes a las líneas verticales indican los valores de separación entre recorridos, teniendo cada recorrido una probabilidad de ocurrencia de un diez por ciento. Los valores de separación (en este caso) se llaman *deciles* y los recorridos, *recorridos de decil*. En el ejemplo, los valores de x para los deciles 1 al 9 son, respectivamente; 2,72; 3,16; 3,48; 3,75; 4,00; 4,25; 4,52; 4,84 y 5,28. Los recorridos de decil 1 y 10 tienen valores de x , respectivamente, menores de 2,72 y mayores que 5,28 con los recorridos intermedios de los deciles 2 al 9. El área encerrada bajo la curva de frecuencias puede ser dividida de otras maneras, por ejemplo en cuartiles, quintiles o percentiles. Este método de representación de la distribución de frecuencias no depende de la configuración de la distribución; puede usarse independientemente del grado de desviación de una forma gaussiana. Por consiguiente, este método es especialmente apropiado para muchas variables meteorológicas, tales como la precipitación, que a menudo no tienen distribuciones de frecuencia gaussianas.

Como ya se ha dicho, la definición más común de clima es la de “tiempo medio”. La palabra “medio” se utiliza a menudo para indicar una magnitud que se esperaba normalmente, en el sentido de recorrido medio, excluyendo los recorridos altos y bajos. Incluso en el caso de que una distribución sea gaussiana, es errónea la idea de que la media aritmética es el valor que más probablemente puede ocurrir. La *Figura 1* muestra que hay una probabilidad igual de que el valor de x esté situado en cualquiera de los diez recorridos de decil. El uso de la media aritmética como un índice único del clima es, por tanto, inadecuado y la idea de que un valor en los recorridos bajos o altos de los percentiles o deciles es anormal (está por encima o por debajo de lo “normal”), es bastante engañosa.

El uso de la *mediana* (el segundo cuartil, quinto decil, quincuagésimo percentil) es muy preferible al de la media aritmética por muchas razones. Su valor es idéntico al de la media aritmética, si la distribución es gaussiana. Es el valor central (50 por ciento de observaciones por debajo y 50 por ciento por encima), independientemente de la forma de la distribución y es prácticamente inalterable al añadir los valores extremos, lo que podría producir importantes cambios en la media aritmética.

Además de la mediana, es necesaria alguna indicación de la dispersión. Un método es indicar los valores de percentiles determinados. Si la distribución puede describirse mediante una función matemática, la mediana y uno o dos percentiles distintos ofrecerán una descripción completa de la distribución. Si no puede lograrse fácilmente tal descripción matemática, será necesario dar los valores de más percentiles.

Desde 1969, se ha utilizado en la *Monthly Rainfall Review* del Servicio Meteorológico Australiano una clasificación general de las características de una distribución de frecuencias. En ella, la “media” se utiliza para denotar la ocurrencia de la precipitación mensual entre los percentiles trigésimo y septuagésimo (es decir, dentro de los recorridos de decil 4 a 7). La terminología usada es la siguientes:

<i>Clasificación</i>	<i>Recorrido del percentil</i>	<i>Recorrido de decil</i>
Muy por encima de la media	Superior al 90	10
Bastante por encima de la media	80 - 90	9
Por encima de la media	70 - 80	8
Media	30 - 70	4 - 7
Por debajo de la media	20 - 30	3
Bastante por debajo de la media	10 - 20	2
Muy por debajo de la media	Inferior al 10	1

Distribuciones de la precipitación

Las distribuciones de frecuencia de las precipitaciones, en particular en las regiones áridas y semiáridas y sus márgenes, muestran grandes desviaciones respecto a las distribuciones gaussianas (normales). Todos los totales diarios, muchos totales mensuales y estacionales y algunos totales anuales (en las regiones áridas) tienen distribuciones que marcadamente no son normales. Otra característica que distingue a las distribuciones de frecuencia de la precipitación de las de otros muchos elementos meteorológicos es que los totales diarios, algunos mensuales y unos pocos anuales contienen valores de no ocurrencia (cero).

Se deduce que el uso de los índices climatológicos tradicionales, la media aritmética y la desviación típica, es realmente inadecuado para los datos de precipitación y puede conducir a conclusiones erróneas. Como ejemplo, si se utiliza como un signo de aumento de la aridez, la frecuencia de ocurrencia de desviaciones negativas respecto a las medias (aritméticas) mensuales de la precipitación en las zonas áridas y semiáridas, puede obtenerse una impresión incorrecta. En esas regiones la mediana es significativamente menor que la media aritmética, de modo que el número de desviaciones negativas respecto a la "normal" excederá del de las desviaciones positivas sin que haya ninguna tendencia hacia una mayor aridez.

La mediana es un índice estadístico mucho más representativo de la precipitación que la media y el uso de percentiles adicionales (por ejemplo el décimo y el nonagésimo) ofrece una idea mucho más significativa de la forma de la distribución que lo hace la desviación típica.

De igual modo, el uso de percentiles de precipitación como indicadores de sequía es muy preferible a un índice tal como el "tanto por ciento de lo normal".

Este tema está tratado con gran detalle por Gibbs (1987).

Las series cronológicas de precipitación

Las series cronológicas de precipitación han sido tema de intenso examen desde los primeros días de asentamiento en Australia y, sin duda, en otras tierras áridas y marginales, debido a que la considerable variabilidad interanual de la precipitación provoca dificultades que los emigrantes no han sufrido en sus países de origen.

Un examen de las series cronológicas australianas de precipitación, revela que se parecen mucho a secuencias de números aleatorios. Esto *no* quiere decir, por supuesto, que el proceso causante de las fluctuaciones sea estocástico, pero sugiere que es prudente examinar las propiedades que muestran las series de números aleatorios.

La *Figura 2* muestra dos secuencias de 100 selecciones aleatorias de los números 1 a 99, además de la serie cronológica de la precipitación anual en Perth (Australia occidental), desde 1876 a 1973. La ordenada de las dos gráficas de números aleatorios es la que se utiliza en papel gráfico de probabilidad (que tiene la propiedad de que la representación de los puntos de la frecuencia acumulada de una distribución normal es una línea recta). Esto simula la escala vertical para la distribución de la precipitación cuando es gaussiana. La ordenada en el gráfico inferior es la precipitación en milímetros y es lineal. Aunque las distribuciones de frecuencia de la precipitación anual puedan no ser gaussianas, la desviación en este caso no es probable que afecte a los argumentos enunciados con respecto a la *Figura 2*.

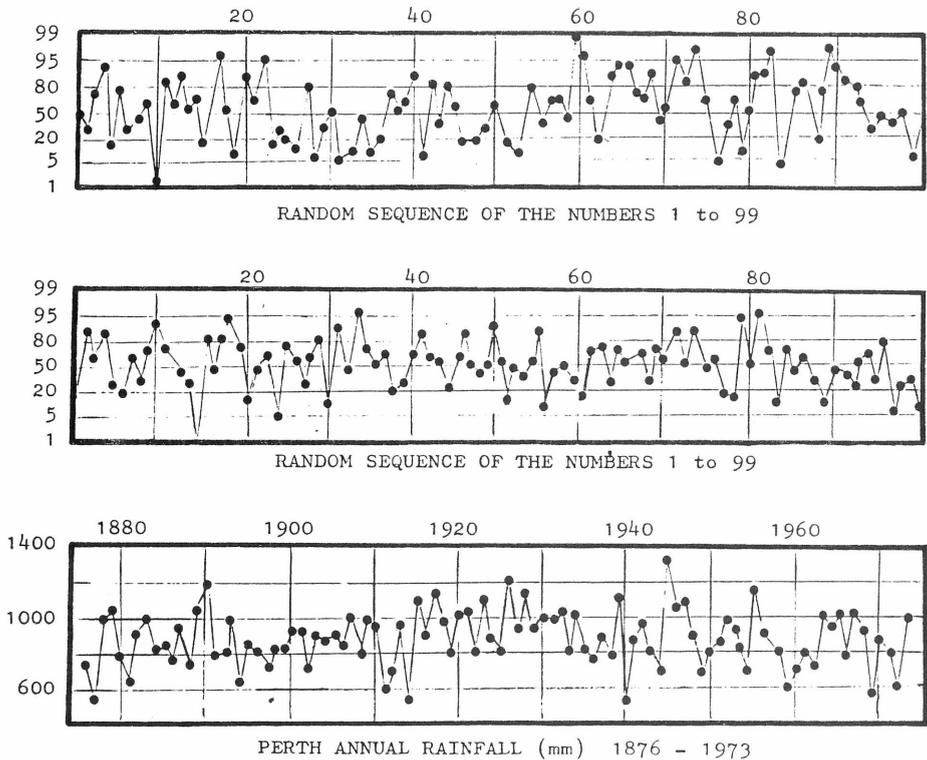


Figura 2.- Ejemplos de dos secuencias de series cronológicas de números aleatorios junto con la serie cronológica de la precipitación anual en Perth (Australia occidental), desde 1876 a 1973.

Fijémonos ahora en las dos series cronológicas de números aleatorios. Se muestran dos ejemplos con el fin de demostrar que, si investigamos lo suficiente entre colecciones de series cronológicas aleatorias, encontraremos algunas características espectaculares. Ambas series cronológicas de números aleatorios contienen las mismas tendencias aparentes, diferencia en la tendencia central de los decenios y tridecenios y periodos de considerable variabilidad, contrastando con periodos de variabilidad relativamente pequeña. Quizás la característica más notable, en cualquiera de las tres gráficas de la *Figura 2*, es la drástica tendencia descendente en el último “decenio” de la gráfica superior.

Finalmente, debe resaltarse que una secuencia aleatoria procedente de una distribución de frecuencias de las precipitaciones anuales no tendrán frecuentemente características demasiado diferentes de las mostradas por unas series cronológicas de precipitación real.

Conclusiones

Hay un gran número de interpretaciones diferentes de la palabra “clima”, normalmente en uso dentro de la comunidad científica, en las instituciones gubernamentales y no gubernamentales y entre el público en general y se proponen las siguientes para su adopción general:

Clima es la probabilidad estadística de ocurrencia de los distintos estados de la atmósfera sobre una región dada durante un periodo cronológico determinado;

Tiempo es el estado de la atmósfera sobre una región dada durante un periodo determinado (minuto, hora, día, mes, estación, año, decenio, etc.).

Una adecuada descripción del clima requiere una precisa representación de la distribución de la probabilidad (frecuencia) de elementos meteorológicos seleccionados, junto con una indicación de las interrelaciones importantes entre elementos y de las características fundamentales de las series cronológicas de estos elementos. En aquellos casos en que las distribuciones de frecuencia tengan forma gausiana, la distribución de la probabilidad puede definirse únicamente por la media aritmética y la desviación típica, pero es necesario establecer que cumplen de hecho con ser gausiana porque, de lo contrario, el uso de la media aritmética y la desviación típica nos daría una representación falsa de la distribución de la probabilidad

Los índices climatológicos que son universalmente aplicables a todos los tipos de distribuciones de frecuencia son la mediana (quincuagésimo percentil) y los valores de aquellos otros percentiles que sean necesarios para representar la distribución de forma adecuada. Si la distribución es gausiana pueden ser definidas unívocamente mediante la mediana (que en este caso es idéntica a la media aritmética) y los percentiles ochenta y cuarenta (la diferencia entre los valores de la mediana y los percentiles ochenta y cuarenta es muy próxima al valor de la desviación típica).

Debería evitarse la definición de clima como “tiempo medio”. Es engañosa porque implica que la media aritmética es el valor más probable. También da la falsa impresión de que la ocurrencia de un valor diferente del de la media aritmética es anómalo o anormal.

Para los datos de precipitación, en especial los de las regiones áridas y semiáridas y sus márgenes, los índices apropiados son la mediana (percentil cincuenta) y otros percentiles especificados. Cuando más del 50 por ciento de los sucesos son sin precipitación, el percentil correspondiente al porcentaje de menores ocurrencias de lluvia se utilizará junto con los percentiles más altos seleccionados.

Es importante reducir las dificultades que probablemente surgirán de distintas nociones, como ocurre con la palabra “clima”. Deberían aprovecharse las ventajas de flexibilidad que proporcionan ahora los ordenadores en el manejo de bancos de datos para revisar el uso de los índices climáticos y considerar una utilización más generalizada de la mediana y otros percentiles. Los órganos constituyentes de la OMM y otros organismos gubernamentales y no gubernamentales parecen ser las instituciones adecuadas para tomar esta iniciativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CONRAD, V. (1944): *Methods in Climatology*. Harvard University Press.
- GIBBS, W. J. (1987): *A Drought-watch System*. Informe del Programa Mundial sobre el Clima. N°. 134. OMM.
- KENDREW, W. G. (1930): *Climate*. Oxford University Press.
- LEITH, C. E. (1976): *Some objectives for Climate research*. JOC Board for the Climate Dynamics Sub-programme OMM/CIUC, Estocolmo.
- MASON, B. J. (1979): The distinction between weather and climate. *The Meteorological Magazine* **108** (1284) págs. 211-212. HMSO, Londres.
- Organización Meteorológica Mundial (1979): *Actas de la Conferencia Mundial del Clima*. OMM - N° 537.
- SCHNEIDER, S. H. (1977): What climatologists can say to planners. *Living with Climatic Change, Phase II*. The Mitre Corporation, McLean, EE.UU.
- U.S. Committee for the Global Atmospheric Research Programme (1975): *Understanding Climate Change*. National Academy of Sciences, Washington D. C.