

Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas

Edición de 2017

TIEMPO CLIMA AGUA



ORGANIZACIÓN
METEOROLÓGICA
MUNDIAL

OMM-N° 1203

Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas

Edición de 2017



ORGANIZACIÓN
METEOROLÓGICA
MUNDIAL

OMM-N° 1203

NOTA DE LA EDICIÓN

METEOTERM, base terminológica de la OMM, está disponible en la página web: <http://public.wmo.int/es/recursos/meteoterm>.

Conviene informar al lector de que cuando copie un hipervínculo seleccionándolo del texto podrán aparecer espacios adicionales inmediatamente después de <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, y después de las barras (/), los guiones (-), los puntos (.) y las secuencias ininterrumpidas de caracteres (letras y números). Es necesario suprimir esos espacios de la dirección URL copiada. La dirección URL correcta aparece cuando se pone el cursor sobre el enlace o cuando se hace clic en el enlace y luego se copia en el navegador.

OMM-N° 1203

© Organización Meteorológica Mundial, 2017

La OMM se reserva el derecho de publicación en forma impresa, electrónica o de otro tipo y en cualquier idioma. Pueden reproducirse pasajes breves de las publicaciones de la OMM sin autorización siempre que se indique claramente la fuente completa. La correspondencia editorial, así como todas las solicitudes para publicar, reproducir o traducir la presente publicación parcial o totalmente deberán dirigirse al:

Presidente de la Junta de Publicaciones
Organización Meteorológica Mundial (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
Case postale N° 2300
CH-1211 Genève 2, Suiza

Tel.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 81 17
Correo electrónico: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-311203-7

NOTA

Las denominaciones empleadas en las publicaciones de la OMM y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no entrañan, de parte de la Organización, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de determinados productos o sociedades mercantiles no implica que la OMM los favorezca o recomiende con preferencia a otros análogos que no se mencionan ni se anuncian.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
AGRADECIMIENTO	vii
1. FINALIDAD	1
2. CONTEXTO	1
3. DEFINICIONES	3
4. CÁLCULO DE NORMALES CLIMÁTICAS	3
4.1 Introducción	3
4.2 Parámetros y elementos	4
4.3 Cálculo de valores de normales	6
4.3.1 Cálculo de valores mensuales individuales	6
4.3.2 Cálculo de una normal mensual a partir de valores mensuales individuales	7
4.3.3 Cálculo de normales anuales, estacionales y demás normales de varios meses	7
4.4 Integridad de los datos	8
4.4.1 Cálculo de un único valor mensual	8
4.4.2 Cantidad de años necesaria para el cálculo de una normal	10
4.5 Cálculo de los límites de los quintiles	10
4.6 Estimación de datos para su uso en el cálculo de normales	11
4.7 Precisión de los datos y redondeo	12
4.8 Homogeneidad, combinación de estaciones e introducción de estaciones meteorológicas automáticas	13
4.8.1 Homogeneidad	13
4.8.2 Uso de la combinación de estaciones	15
4.8.3 Introducción de estaciones meteorológicas automáticas	16
4.9 Metadatos de acompañamiento de las normales climáticas	17
5. ASPECTOS DE APLICACIÓN	17
5.1 Motivos para el cálculo de normales climatológicas estándares y normales de referencia	17
5.2 Posibles usos de las medias para períodos no normalizados	18
5.2.1 Uso de períodos de 30 años no normalizados en productos históricos	18
5.2.2 Uso de un período de más de 30 años para el cálculo de estadísticas de orden superior	19
5.2.3 Uso de períodos de promediación más breves	19
6. ASPECTOS DE COMUNICACIÓN	20
7. PROCESO DE PRESENTACIÓN DE NORMALES CLIMATOLÓGICAS ESTÁNDARES Y NORMALES DE REFERENCIA	20
8. REFERENCIAS	21

AGRADECIMIENTO

Se agradece la sobresaliente contribución del señor Blair Trewin, de la Oficina de Meteorología de Australia, a la elaboración de la presente publicación.

El presente documento sustituye al documento técnico de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) WMO/TD-No. 341 (WCDP-10) titulado *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989) (Cálculo de las normales estándares mensuales y anuales para un período de 30 años), y en él se abordan las prácticas de cálculo de las normales climatológicas de 2017.

Nota: En el presente documento se privilegia el concepto "normales climáticas" sobre el concepto "normales climatológicas", pero este último se reserva para el término "normales climatológicas estándares" (según la definición que figura en el *Vocabulario Meteorológico Internacional* (OMM, 1992)) así como también para las referencias históricas (por ejemplo, aquellas contenidas en publicaciones).

1. FINALIDAD

El presente documento se centra en las observaciones realizadas en estaciones meteorológicas de observación en superficie. Sin embargo, muchos de los principios expuestos también serán válidos para otras modalidades de observación, incluidas las observaciones en altitud y los conjuntos de datos basados en plataformas móviles o de teledetección (por ejemplo, satélites, sistemas de radar o boyas a la deriva). En particular, dado que numerosos conjuntos de datos de teledetección claves empezaron a elaborarse en el decenio de 1970, se recomienda, cuando ello sea viable, el uso del actual período de las normales climatológicas estándares (1981-2010, en el momento de redactarse la presente publicación) para esos conjuntos de datos a fin de permitir la realización de comparaciones entre diferentes formatos de datos de manera sistemática. Muchos de los citados principios también se aplicarán a conjuntos de datos que conlleven ubicaciones o regiones distintas a las estaciones meteorológicas de observación en superficie, por ejemplo, promedios por zona o puntos en conjuntos de datos reticulados.

Se recomienda el uso de los procedimientos que se exponen a continuación para todos los cálculos de normales climáticas, en particular, para las normales climatológicas estándares intercambiadas entre Miembros. Sin embargo, se admite que, en algunos casos, determinados sistemas operativos aplican métodos y definiciones distintos a los recogidos en el presente documento (por ejemplo, definiciones más estrictas para los datos faltantes), y que la modificación de esos sistemas puede entrañar dificultades o resultar costosa. En tales casos, debería documentarse exhaustivamente cualquier desviación con respecto a esas recomendaciones.

2. CONTEXTO

El uso de las normales climáticas responde a dos finalidades principales. Por un lado, sirven de referencia con la que comparar observaciones recientes o actuales y, en particular, permiten fundamentar muchos conjuntos de datos climáticos basados en anomalías (por ejemplo, las temperaturas medias mundiales). Por otro, también se utilizan ampliamente, de forma implícita o explícita, para predecir las condiciones que muy probablemente se darán en un lugar determinado.

Las prácticas históricas relacionadas con las normales climáticas, tal y como se describen en la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011), el *Reglamento Técnico* (OMM, 2016b) y el *Manual sobre la preparación de informes CLIMAT y CLIMAT TEMP* (OMM, 2009), se remontan a la primera mitad del siglo XX. Por lo general, suele recomendarse el uso de períodos de 30 años como referencia. El hecho de que, cuando se formuló la recomendación por primera vez, solo se dispusiera de 30 años de datos para fines de elaboración de resúmenes impulsó la fijación del período de referencia de 30 años como norma. En un principio, el objetivo de las normales consistía en permitir la comparación de las observaciones realizadas en todo el mundo. El uso de las normales para la predicción fue cobrando impulso lentamente a lo largo del siglo XX (OMM, 2011, sección 4.8).

Tomando en consideración las cuestiones definidas en la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007) y en otras fuentes, el *Decimoséptimo Congreso*

Meteorológico Mundial (OMM, 2015) aprobó diversos cambios en las definiciones relativas a las normales climáticas, cambios que quedaron patentes en el *Reglamento Técnico* (OMM, 2016b). El más significativo de todos ellos fue la modificación de la definición de normal climatológica estándar, que ahora corresponde al período de 30 años más reciente que concluye en un año acabado en 0 (1981-2010 en el momento de la redacción del presente documento) y no a períodos de 30 años no superpuestos (1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 y, en el futuro, 1991-2020), como sucedía anteriormente. Sin embargo, el período comprendido entre los años 1961 y 1990 se ha mantenido como período de referencia reglamentario para las evaluaciones del cambio climático a largo plazo.

Muchas de las recomendaciones del presente documento se basan en estudios de diversos aspectos relacionados con las normales climáticas, en particular, su sensibilidad a la duración y los ciclos del período de promediación, y el carácter incompleto de los datos (para puntos de datos bien consecutivos, bien no consecutivos). Se invita a los lectores a consultar la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007) a fin de obtener información pormenorizada al respecto.

3. DEFINICIONES

En el *Reglamento Técnico* (OMM, 2016b) se facilitan las definiciones siguientes:

- **Medias de períodos:** Medias de los datos climatológicos calculadas para cualquier período de por lo menos 10 años que comience el 1 de enero de un año que acabe en 1.
- **Normales:** Medias periódicas calculadas para un período uniforme y relativamente largo que comprenda por lo menos tres períodos consecutivos de 10 años.
- **Normales climatológicas reglamentarias:** Medias de los datos climatológicos calculadas para los siguientes períodos consecutivos de 30 años: 1 de enero de 1981 a 31 de diciembre de 2010, 1 de enero de 1991 a 31 de diciembre de 2020, y así sucesivamente.

Además, de conformidad con la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007), en el resto del presente documento se emplean las definiciones siguientes:

- **Media:** Valor medio de los valores mensuales de los datos climatológicos durante cualquier período de tiempo especificado (no tiene por qué empezar obligatoriamente en un año que acabe con el dígito 1). En algunas fuentes, también se denomina "normal provisional".
- **Elemento:** Aspecto del clima que se puede describir de forma estadística, como la temperatura, la precipitación o la presión de vapor.
- **Parámetro:** Indicador estadístico de un elemento climático. En la mayoría de los casos se trata de la media aritmética, aunque también puede incluir valores tales como la desviación típica, los puntos de percentil, el número de veces que se excede un umbral o los valores extremos.

Si bien las definiciones que figuran en el *Reglamento Técnico* (OMM, 2016b) hacen referencia a medias, en el presente documento también se incluyen otros indicadores estadísticos.

Por último, aunque en virtud de la Resolución 16 del *Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial* (OMM, 2015) no se asignó ninguna denominación oficial a las medias correspondientes al período 1961-1990 utilizadas como referencia para la evaluación del cambio climático, en el presente documento se denominan "normales de referencia".

4. CÁLCULO DE NORMALES CLIMÁTICAS

4.1 Introducción

Las orientaciones brindadas en el presente documento se han concebido principalmente para el cálculo de normales (en particular, normales climatológicas estándares y normales de referencia según las definiciones del capítulo 3), pero en muchos casos también pueden aplicarse a medias y medias de períodos.

Se prevé que los datos se habrán sometido a procesos de control de calidad antes de utilizarse en el cálculo de normales.

Cuando los datos son completos y de buena calidad, la mayoría de las decisiones relacionadas con el cálculo de normales son relativamente sencillas. Ahora bien, muchas de las complicaciones se deben al uso de datos incompletos. En ese sentido, una de las posibles estrategias para el cálculo de normales pasa por tener únicamente en cuenta aquellas estaciones cuyos datos diarios a lo largo del período de promediación son completos. Sin embargo, en la mayoría de los países, las estaciones de ese tipo son escasas o incluso nulas y, por consiguiente, es preciso alcanzar un equilibrio entre, por un lado, potenciar al máximo la integridad de los datos empleados en las

normales climáticas y, por otro, contar con una cantidad sustancial de estaciones para el cálculo de normales, de modo que se puedan calcular normales "verdaderas" (esto es, las normales que se obtendrían de datos completos) con un nivel de incertidumbre aceptable.

En este capítulo se incluye un breve examen de los procesos de control de calidad y homogeneización de los datos climáticos, porque un análisis más exhaustivo de esas cuestiones escapa al alcance del presente documento. En el momento de elaborarse esta publicación, se estaba preparando material de orientación específico de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sobre ambas materias, y debería consultarse a fin de obtener información pormenorizada al respecto.

4.2 Parámetros y elementos

Pueden elaborarse normales climáticas para una amplia variedad de elementos. Si bien algunos de ellos, como la temperatura y la precipitación, serán pertinentes para todas las partes del mundo, la pertinencia de otros, como las nevadas o la superación de determinados umbrales (por ejemplo, temperaturas máximas por debajo de 0 °C en los trópicos), será escasa o nula en algunas zonas del planeta. Cabe la posibilidad de que los países también deseen calcular normales para elementos especialmente pertinentes para sus circunstancias específicas.

En el presente documento se definen las categorías siguientes:

- **Parámetros climatológicos de superficie primarios.** Se definen en la publicación *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989) (Cálculo de las normales estándares mensuales y anuales para un período de 30 años), aunque en esa publicación se utiliza el término "*elements*", esto es, "elementos". Deberían notificarse normales de esos parámetros procedentes de todas las estaciones que cuenten con una cantidad suficiente de datos para llevar a cabo esos cálculos (véanse las orientaciones sobre integridad de los datos en la sección 4.4 a continuación).
- **Parámetros climatológicos de superficie secundarios.** Se trata de parámetros no incluidos en el apartado anterior, pero que se notifican en mensajes CLIMAT normalizados (que constituyen los medios principales de intercambio de datos climatológicos mensuales) o son pertinentes para algún aspecto notificado. Se alienta a los Miembros a calcular y notificar normales de esos parámetros en caso de que se disponga de datos adecuados.
- **Otros parámetros climatológicos de superficie.** Se trata de parámetros que no se intercambian de forma sistemática por conducto de mensajes CLIMAT normalizados, pero pueden resultar de interés para fines circunscritos al plano nacional o regional.

Los parámetros de esas categorías se enumeran en el cuadro 1, en el que también se consignan consideraciones específicas cuando ello resulte procedente.

Cuadro 1. Parámetros climatológicos de superficie

Parámetros climatológicos de superficie primarios		
<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Comentarios</i>
Precipitación total	mm	La definición de día de observación debería ser acorde a las normas nacionales y documentarse en metadatos (véase también la sección 4.9).
Cantidad de días con precipitación ≥ 1 mm	Recuento	
Valores medios mensuales de las temperaturas máxima, mínima y media diaria	°C	La definición de día de observación, así como el sistema de cálculo de la temperatura media diaria, deberían ser acordes a las normas nacionales y documentarse en metadatos (véase también la sección 4.9). Se aplican diferentes métodos para el cálculo de la temperatura media diaria.

Parámetros climatológicos de superficie primarios		
Valor medio de la presión a nivel del mar	hPa	Si fuera posible, deberían calcularse los valores diarios como media de ocho observaciones realizadas a intervalos uniformes de tres horas o bien como media de cuatro observaciones realizadas a intervalos uniformes de seis horas. Si no fuera posible, debería utilizarse un conjunto de horas de observación que, con el paso del tiempo, fuera coherente en esa estación, y debería documentarse en metadatos. En estaciones instaladas en zonas elevadas, puede utilizarse la altura geopotencial media a un valor de presión establecido (por ejemplo, 850 hPa o 700 hPa) como parámetro que sustituya a la presión media a nivel del mar.
Presión media de vapor	hPa	Debería calcularse como media de los valores diarios. Si fuera posible, esos valores deberían calcularse como media de ocho observaciones realizadas a intervalos uniformes de tres horas o bien como media de cuatro observaciones realizadas a intervalos uniformes de seis horas. Si no fuera posible, debería utilizarse un conjunto de horas de observación que, con el paso del tiempo, fuera coherente en esa estación, y debería documentarse en metadatos. Es importante que las medias mensuales de la presión de vapor se calculen a partir de valores diarios de ese parámetro y no a partir de medias mensuales de la humedad relativa o la temperatura de rocío, dado que esos métodos arrojarían resultados diferentes.
Cantidad total de horas de insolación	Horas	
Parámetros climatológicos de superficie secundarios		
<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Comentarios</i>
Valor medio de la presión a nivel de estación	hPa	El cálculo de este valor es idéntico al de la presión media a nivel del mar indicado con anterioridad.
Límites de los quintiles de precipitación*	mm	Véase la sección 4.5.
Cantidad media de días con una temperatura máxima $\geq 25, 30, 35, 40$ °C	Recuento	
Cantidad media de días con una temperatura máxima < 0 °C	Recuento	
Cantidad media de días con una temperatura mínima < 0 °C	Recuento	
Cantidad media de días con una precipitación diaria $\geq 5, 10, 50, 100, 150$ mm	Recuento	
Cantidad media de días con un espesor de nieve $> 0, 1, 10, 50$ cm	Recuento	
Cantidad media de días con una velocidad del viento $\geq 10, 20, 30$ m/s	Recuento	La velocidad del viento empleada para este elemento es la velocidad máxima media de diez minutos registrada durante el día. Se trata de una definición diferente a la de racha máxima de viento.
Cantidad media de días con una visibilidad $< 50, 100, 1\ 000$ m	Recuento	Hace referencia a aquellos días en los que se notifica una visibilidad inferior al umbral especificado en cualquier observación realizada durante el día.
Valores de temperatura media diaria más alto y más bajo registrados	°C	
Valor de temperatura máxima diaria más alto registrado*	°C	

Parámetros climatológicos de superficie secundarios		
Valor de temperatura mínima diaria más bajo registrado*	°C	
Valor de precipitación diaria más alto registrado	mm	
Racha de viento máxima registrada	m/s	
Cantidad media de días con truenos	Recuento	
Cantidad media de días con granizo	Recuento	
Otros parámetros climatológicos de superficie		
<p>No se brindan orientaciones específicas para esos parámetros. A continuación se indican algunos ejemplos de esos parámetros que pueden resultar valiosos para fines circunscritos al plano nacional o regional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - valores medio o total de parámetros relacionados con elementos no enumerados con anterioridad (por ejemplo, nubosidad, evaporación en el tanque evaporimétrico, radiación solar, velocidad del viento, temperatura del suelo o caída de nieve) y expresiones alternativas relacionadas con un elemento (por ejemplo, humedad relativa o punto de rocío); - recuentos de días con valores por encima o por debajo de determinados umbrales distintos a los enumerados con anterioridad; - valores medios de parámetros relacionados con observaciones en un momento específico del día (por ejemplo, temperatura media a las 0900); - recuentos de días en los que se producen fenómenos (distintos a los truenos o el granizo); e - indicadores estadísticos distintos a los enumerados (por ejemplo, valor de temperatura máxima diaria más bajo). <p>Cabe señalar que en la publicación <i>1961-1990 Global Climate Normals (CLINO)</i> (OMM, 1998) (Normales climáticas mundiales 1961-1990 (CLINO)) los valores correspondientes a la humedad relativa media y a la velocidad media del viento se notifican para algunas estaciones, pero actualmente no hay nada previsto para esos parámetros en los mensajes CLIMAT.</p>		

* En las normales climáticas mundiales de la OMM publicadas para el período 1961-1990 (OMM, 1998) se han notificado valores de esos parámetros para algunas estaciones.

4.3 **Cálculo de valores de normales**

Las normales climáticas se calculan a partir de los valores mensuales registrados durante los períodos de promediación. En función del parámetro en cuestión, esos valores mensuales pueden ser:

- la media de los valores diarios registrados durante el mes (denominados en el presente documento parámetros medios);
- el valor más alto o más bajo registrado durante el mes (denominados en el presente documento parámetros extremos);
- la suma de los valores diarios registrados durante el mes (denominados en el presente documento parámetros de suma);
- la cantidad de días por encima o por debajo de un umbral determinado, o en los que se produce un fenómeno (denominados en el presente documento parámetros de recuento).

4.3.1 **Cálculo de valores mensuales individuales**

Los valores mensuales individuales se calculan del modo siguiente.

- a) Parámetro medio

La media de los valores diarios registrados durante el mes.

b) Parámetro extremo

El valor más alto o más bajo (según proceda) registrado durante el mes.

c) Parámetro de suma

La suma de los valores diarios registrados durante el mes.

d) Parámetro de recuento

En el caso de un parámetro de recuento, la cantidad de días en los que se produce un fenómeno (o se supera un umbral) debería convertirse a una razón o porcentaje de la cantidad de días en los que se realizaron observaciones. Por ejemplo, si el fenómeno tuvo lugar en 22 días y se realizaron observaciones 25 días del mes, ese valor debería ser 0,88 o 88%.

Nota: Gracias a este procedimiento, los meses con una cantidad limitada de datos faltantes se pueden tener en cuenta para parámetros de recuento.

En todos los casos, el valor de un mes únicamente debería calcularse si, para la variable en cuestión, el mes cumple las condiciones de integridad de los datos descritas en la sección 4.4.1.

4.3.2 **Cálculo de una normal mensual a partir de valores mensuales individuales**

La normal mensual de un mes determinado debería calcularse del modo siguiente.

a) Parámetro medio y parámetro de suma

La media de todos los valores no faltantes registrados durante el período de promediación del mes en cuestión.

b) Parámetro extremo

El valor más alto (o más bajo) registrado durante el período de promediación para el mes en cuestión.

c) Parámetro de recuento

Inicialmente, debería calcularse una razón o porcentaje medio del mes a partir de los valores de razón o porcentaje de cada mes durante el período de promediación (véase más arriba). Acto seguido, la razón o porcentaje medio debería convertirse a una cantidad media de días del mes al multiplicarlo por la cantidad de días del mes. Por ejemplo, una razón media de 0,88 para enero se convierte en $(0,88 \times 31) = 27,28$ días, o en 27,3 días si se aplica el redondeo (en el caso de febrero, los valores deberían multiplicarse por 28,25 días).

En cualquier caso, únicamente debería calcularse un valor de normal si se cumplen los criterios de integridad de los datos descritos en la sección 4.4.2.

4.3.3 **Cálculo de normales anuales, estacionales y demás normales de varios meses**

Las normales que abarcan un período superior a un mes (por ejemplo, las normales anuales o estacionales) deberían calcularse del modo siguiente.

a) Parámetro medio

La media de las normales mensuales de los meses en cuestión¹.

b) Parámetro de suma y parámetro de recuento

La suma de las normales mensuales de los meses en cuestión.

c) Parámetro extremo

El más alto o más bajo de los valores mensuales de los meses en cuestión.

En particular, las normales anuales deberían calcularse a partir de las normales mensuales, y no de valores anuales individuales. Ambos métodos generarán resultados idénticos (obviando eventuales diferencias leves debidas al redondeo) si no faltan valores mensuales, pero pueden presentar diferencias en caso de que falten algunos valores mensuales.

Si falta la normal mensual de cualquiera de los meses que integran el período de interés, entonces la normal de varios meses también debería tener la consideración de faltante.

4.4 Integridad de los datos

4.4.1 Cálculo de un único valor mensual

a) Parámetro medio

En la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007) se llevó a cabo una minuciosa evaluación con miras a determinar la incertidumbre adicional introducida en la estimación de un valor mensual medio a causa de la existencia de valores faltantes². Se llegó a la conclusión de que, si la distribución de los días faltantes a lo largo de un mes responde a un patrón aleatorio, la amplitud del intervalo de confianza del 95% corresponde, de media, al 11% de la desviación estándar de los valores diarios subyacentes de 5 días faltantes, y al 17% de la desviación estándar de 10 días faltantes. Ello equivale, por ejemplo, a unas pocas décimas de grado Celsius para valores habituales de desviación estándar correspondientes a las temperaturas máxima y mínima diarias (más altas en el interior de los continentes a mayores latitudes en invierno, y más bajas en los trópicos y numerosas ubicaciones insulares).

El hecho de que una cantidad sustancial de los días faltantes sean consecutivos supone la introducción de incertidumbre adicional. Ello se debe a la existencia de cierto grado de autocorrelación en la mayoría de los parámetros meteorológicos diarios: es decir, si el valor en un determinado día es superior (o inferior) a la normal, existe, respecto de los patrones climatológicos, una probabilidad superior de que, en los próximos días, el valor también sea superior (o inferior) a la normal.

Por consiguiente, y con arreglo al contenido de la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011)³, se recomienda que, cuando un valor mensual corresponda a la media de los valores diarios de ese mes, no se calcule si se cumple cualquiera de los criterios siguientes:

- faltan observaciones para 11 o más⁴ días del mes;
- faltan observaciones para un período de cinco o más días consecutivos del mes.

¹ Algunos Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, al calcular la normal de varios meses, ponderan las normales mensuales según la cantidad de días del mes, pero se desaconseja esa práctica para los productos intercambiados en el plano internacional.

² En el contexto de la presente sección, un valor que se considere sospechoso o incorrecto tras someterse a un proceso de control de calidad debería tener la consideración de faltante.

³ Conviene recordar que en la publicación *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989) se propusieron criterios más estrictos (más de cinco días en total o más de tres días consecutivos), y en algunos países esos criterios se aplican en la práctica.

⁴ En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011) se define como "más de 10", por lo que es equivalente.

Sin embargo, conviene apuntar que los países que, en el pasado, decidieron seguir la regla denominada de 5/3 (aceptar solo cinco días de observaciones faltantes por mes y no más de tres días consecutivos faltantes según las indicaciones de la publicación *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989)), u otros criterios sobre datos faltantes más estrictos que los indicados con anterioridad, puede que deseen mantener la aplicación de esas normas más estrictas a fin de velar por la coherencia de su registro climático nacional. En principio, este apunte también es procedente para los párrafos siguientes de la sección 4.4.1.

b) Parámetro extremo

En el contexto del cálculo de normales, el cálculo de un valor extremo durante un mes concreto es un paso intermedio para el cálculo de valores extremos a lo largo de todo el período objeto de análisis. En ese punto del proceso, convendría calcular los valores extremos de un mes, con independencia de la cantidad de datos disponibles durante el mismo. En la sección 4.4.2 se analiza la cuestión de la cantidad de datos necesaria para lograr una notificación fiable de un valor extremo del conjunto del período.

c) Parámetro de suma

Solo puede calcularse un valor mensual de un parámetro de suma (por ejemplo, la precipitación total) si se dispone de datos completos del conjunto del mes. Ello significa que, en general, un parámetro de suma no podrá calcularse si durante el mes faltan observaciones.

Sin embargo, cabe destacar dos excepciones:

- La posibilidad de utilizar datos estimados para colmar lagunas en los datos observados en un mes determinado. En la sección 4.6 se aborda con mayor detenimiento la estimación de datos en ese contexto.
- Para algunos elementos, un período de datos faltantes puede ir seguido de una observación que represente un valor acumulado del período de observaciones faltantes (por ejemplo, un pluviómetro cuyos datos no se registran durante el fin de semana, pero del que se notifica la precipitación total del período de tres días el lunes). En caso de saberse que esas observaciones acumuladas abarcan el período completo de datos faltantes, todavía podrá calcularse una suma mensual.

En cualquiera de los casos, solo debería calcularse un total mensual si la cantidad de días del mes representada por datos estimados o acumulados cumple los mismos criterios que se aplicarían a los datos faltantes de un parámetro medio (esto es, los datos estimados o acumulados no representan 11 o más días durante el mes, ni 5 o más días consecutivos durante el mes).

d) Parámetro de recuento

En el contexto de las normales, un parámetro de recuento representa una indicación de la probabilidad de que un fenómeno se produzca en un día determinado durante ese mes del año. Se representa como número previsto de días y no como porcentaje o razón. El proceso de cálculo de una normal para un parámetro de recuento conlleva la conversión de la cantidad de días de observación de un mes determinado a una razón o porcentaje (véase la sección 4.3 para obtener más información al respecto). En un procedimiento de esa naturaleza es preciso proceder con cierta cautela dado que, para algunos elementos o parámetros, los datos faltantes pueden representar, preferentemente, una condición determinada (por ejemplo, es más probable que los informes en los que se indica la presencia o la ausencia de precipitaciones en forma de nieve falten en los días sin nieve).

Asimismo, no debería calcularse una razón o porcentaje del mes si hay 11 o más días en los que faltan observaciones, o 5 o más días consecutivos faltantes. En tales casos, los valores mensuales deberían considerarse faltantes.

En algunas circunstancias, puede conocerse la cantidad de días en los que se ha producido un fenómeno, incluso aunque falten los datos diarios subyacentes (por ejemplo, puede notificarse que se acumularon 10 mm de lluvia a lo largo de 3 días, y que cayó lluvia en 2 de los 3 días), pero esa información debería utilizarse con sumo cuidado.

4.4.2 **Cantidad de años necesaria para el cálculo de una normal**

En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011) se recomienda que, para el cálculo de una normal o media de un mes determinado, convendría disponer de datos por lo menos del 80% de los años que integran el período de promediación. Ello equivale a contar con datos de ese mes para, como mínimo, 24 de los 30 años de una normal climatológica estándar o una normal de referencia. En la citada guía también se desaconseja el cálculo de una normal si faltan valores en tres o más años consecutivos. Sin embargo, en la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007) se observó la ausencia de ventajas significativas (en cuanto a incertidumbre de la normal calculada como estimación del valor verdadero) de un criterio que impusiera el carácter consecutivo de los años del período. Ello se debe a que la autocorrelación de valores mensuales con un año de separación suele ser baja, y el hecho de que se requiera la presencia de por lo menos el 80% de los años limita la repercusión de los datos faltantes al inicio o al final de un período de promediación en el caso de los elementos que muestran una tendencia marcada.

Por consiguiente, se recomienda el cálculo de normales o medias cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- En el caso de parámetros distintos a los parámetros extremos, cuando se disponga de valores mensuales válidos (según la definición de la sección 4.4.1) en por lo menos el 80% de los años del período de promediación (sin aplicarse el criterio adicional que impone el carácter consecutivo de los años).
- En el caso de parámetros extremos, cuando se disponga de valores mensuales válidos para la media del elemento subyacente en por lo menos el 80% de los años del período de promediación (por ejemplo, si el parámetro en cuestión es la temperatura máxima más alta, debe haber un valor medio mensual válido de la temperatura máxima de ese mes).

4.5 **Cálculo de los límites de los quintiles**

Un tipo especial de parámetro en el cálculo de normales es la definición de los límites de los quintiles para la precipitación mensual. En la bibliografía sobre estadística no se recoge ningún método para la definición de los límites de los quintiles en el contexto de un conjunto de datos finito que suscite un consenso universal. Dos de los métodos principales suponen la definición del valor registrado más bajo como percentil cero, o como percentil $(1 / (n + 1) \times 100)$, donde n es la cantidad de observaciones del conjunto de datos. En el caso de los límites de los quintiles de normales climáticas, se aplica el primero de los procedimientos, puesto que se considera de utilidad incorporar a los citados límites información sobre los valores más alto y más bajo registrados durante el período de promediación. Ello facilita la notificación de futuras instancias en las que la precipitación mensual sea superior, o inferior, a cualquier valor registrado en el período de promediación.

En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011) se define un procedimiento para el cálculo de los límites de los quintiles. Ese procedimiento únicamente es válido si hay exactamente 30 valores y, por ende, se aplica a las normales climatológicas estándares y a las normales de referencia cuando no faltan valores mensuales, pero no puede aplicarse a aquellos casos en los que faltan valores, ni a los períodos que no sean de 30 años. Tal y como se documenta en la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007), ese procedimiento también supondrá una leve infrarrepresentación de la cantidad de años en los quintiles primero y quinto.

En *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007) se propone un procedimiento general y se recomienda su uso. En el caso concreto de 30 años de datos completos, los resultados que ofrecerá serán ligeramente diferentes a los obtenidos por conducto del método descrito en la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011), pero las diferencias entre ambos serán, por lo general, menores.

En el cuadro 2 se indican los límites de los quintiles recomendados.

Cuadro 2. Límites de los quintiles recomendados

<i>Límites de los quintiles</i>	<i>Contenido de los datos</i>
Límite inferior del quintil 1	Observación más baja durante el período de promediación
Límite superior del quintil 1	Observación que ocupa la $(1 + (n - 1) / 5)$. ^a posición durante el período de promediación (6,8 para un conjunto de datos de 30 años)
Límite superior del quintil 2	Observación que ocupa la $(1 + 2(n - 1) / 5)$. ^a posición durante el período de promediación (12,6 para un conjunto de 30 años)
Límite superior del quintil 3	Observación que ocupa la $(1 + 3(n - 1) / 5)$. ^a posición durante el período de promediación (18,4 para un conjunto de datos de 30 años)
Límite superior del quintil 4	Observación que ocupa la $(1 + 4(n - 1) / 5)$. ^a posición durante el período de promediación (24,2 para un conjunto de datos de 30 años)
Límite superior del quintil 5	Observación más alta durante el período de promediación

En todos los casos, los valores enteros de ambos lados son objeto de interpolación lineal a fin de calcular un valor que ocupe una posición expresada como fracción (por ejemplo, el valor clasificado en la 6,8.^a posición se calcula como $(0,2 \times \text{valor clasificado en la sexta posición} + 0,8 \times \text{valor clasificado en la séptima posición})$).

Los límites de los quintiles solo deberían calcularse para un mes determinado si los datos mensuales cumplen los criterios de integridad especificados en la sección 4.4.2.

4.6 **Estimación de datos para su uso en el cálculo de normales**

Cabe la posibilidad de incorporar datos estimados al cálculo de normales climáticas. Ello puede incrementar la cantidad de datos útiles en el caso de los parámetros de suma, para los que la ausencia de datos correspondientes a un día durante un mes impide el cálculo de un valor mensual.

En el contexto de las normales climáticas, a continuación se indican los posibles métodos de estimación que pueden utilizarse (bien por separado, bien combinándolos entre sí):

- Interpolación espacial: uso de datos interpolados procedentes de otros emplazamientos situados en las inmediaciones.
- Interpolación temporal: uso de datos anteriores o posteriores a un período de datos faltantes. Para los elementos abordados en las presentes directrices, los valores de otros días rara vez resultan de utilidad para obtener el valor de un día faltante. Sin embargo, la interpolación temporal de datos subdiarios puede permitir la recuperación de un valor diario que, de otro modo, sería faltante (por ejemplo, cuando una estación meteorológica

automática no notifica una temperatura máxima diaria a causa de una interrupción de 30 minutos de duración producida en un punto temporal distante del momento previsto en el que se registra la temperatura máxima).

- Uso de elementos alternativos: por ejemplo, uso de la nubosidad para estimar un valor diario de insolación faltante.
- Uso de métodos alternativos de observación: por ejemplo, uso de observaciones satelitales o por radar para estimar los datos de precipitación cuando falta la observación original.

En ocasiones también cabe la posibilidad de combinar métodos de estimación con datos observados; por ejemplo, el uso de la interpolación espacial para cada día a fin de desglosar un valor total de precipitación de varios días en los correspondientes valores totales diarios que lo componen.

En la sección 5.9 de la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2011) se abordan ampliamente las cuestiones asociadas con la estimación de datos climatológicos, y se insta a los usuarios que buscan un análisis exhaustivo de ese tema a que consulten esa publicación y las referencias que contiene. No corresponde a la presente publicación brindar directrices pormenorizadas sobre métodos de estimación, y los usuarios que se planteen la posibilidad de utilizar datos estimados deberían llevar a cabo sus propios estudios de los métodos más adecuados, teniendo en cuenta las fuentes de datos disponibles para su región y las correspondientes características climáticas y geográficas de la misma.

Toda estimación utilizada en el cálculo de normales climáticas debería realizarse sin sesgo alguno. Por ejemplo, no resultaría apropiado utilizar datos de radar para determinar los días con falta de observaciones en los que no hubo precipitación sin generar también valores estimados de los días con falta de observaciones en los que sí hubo precipitación, puesto que ello introduciría un sesgo a la baja en el conjunto de los datos.

En el contexto del cálculo de normales en una estación, la estimación únicamente debería utilizarse para colmar lagunas relativamente pequeñas en los conjuntos de datos (hasta diez días en cualquier mes concreto). No debería utilizarse con objeto de calcular en una estación determinada una normal de un elemento que nunca se haya observado en ella. Esa recomendación no guarda relación alguna con la práctica totalmente adecuada de utilizar normales calculadas en estaciones con miras a estimar condiciones previstas para el mismo período en otras ubicaciones.

4.7 **Precisión de los datos y redondeo**

Para la mayoría de los parámetros, por lo general deberían notificarse normales con una precisión de un decimal. La notificación de normales de estaciones con un grado de precisión mayor no suele ser adecuada, aunque en algunos casos puede resultar apropiada para promedios por zona que abarcan una gran cantidad de estaciones.

Debe tenerse en cuenta en qué puntos del cálculo de normales debería aplicarse el redondeo. El cálculo de una normal climática suele conllevar tres pasos:

- cálculo de un valor mensual individual a partir de los datos diarios subyacentes (para algunas variables, los datos diarios subyacentes pueden entrañar el cálculo de un valor a partir de datos subdiarios);
- cálculo de una normal de un mes a partir de cada uno de los valores mensuales individuales registrados durante el período de promediación;
- cálculo de normales de períodos de varios meses (por ejemplo, períodos anuales) a partir de los valores mensuales.

En principio, la máxima exactitud se conseguirá si se vela por mantener la máxima precisión a lo largo de los cálculos, y el redondeo se reserva única y exclusivamente para el paso final (esto es, la notificación de una normal mensual o de varios meses). Sin embargo, un obstáculo de primer orden para hacerlo de forma sistemática es que los valores mensuales individuales suelen estar disponibles únicamente con una precisión de un decimal, y las bases de datos nacionales y la clave CLIMAT para la transmisión internacional de datos climáticos mensuales acostumbran a especificar, como máximo, un decimal. En muchos casos (en particular para los conjuntos de datos internacionales basados principalmente en informes CLIMAT), cabe la posibilidad de que los datos diarios subyacentes no estén disponibles, con la consiguiente imposibilidad de elaborar cálculos totalmente precisos.

Así pues, y con miras a lograr una práctica coherente, se recomienda el redondeo de los valores mensuales individuales a un decimal antes de utilizarlos para el cálculo de la normal del mes en cuestión, así como también el cálculo de normales de períodos de varios meses a partir de normales mensuales redondeadas a un decimal. Aunque pueda parecer que esa práctica conlleva cierta pérdida de precisión, las diferencias son pequeñas. A modo de ejemplo, cabe apuntar que la desviación estándar de la diferencia entre una normal de 30 años calculada con datos mensuales redondeados a un decimal y una normal de 30 años calculada con datos de máxima precisión es de 0,005, es decir, la probabilidad de que, después del redondeo, la diferencia entre ambos valores sea de 0,1 es, aproximadamente, del 5%. Para la mayoría de los fines, esa diferencia no es significativa.

Una última cuestión relacionada con el redondeo tiene que ver con el método de redondeo de valores que se encuentran exactamente en el punto medio entre puntos de datos (por ejemplo, si 0,15 debe redondearse a 0,1 o a 0,2). En tal caso, un aspecto importante que debe tenerse en cuenta es la necesidad de que el redondeo no esté sujeto a un sesgo sistemático, es decir, esos valores no deberían redondearse de forma sistemática al alza o a la baja. Dos prácticas que dan lugar a ese efecto son, por un lado, aquella por la que los empates se redondean a impares (un valor acabado en ,5 se redondea al número impar más cercano) y, por otro, aquella por la que los empates se redondean a pares (un valor acabado en ,5 se redondea al número par más cercano). Diversos países han utilizado de forma generalizada la primera de esas prácticas en los informes sinópticos. Sin embargo, la segunda de ellas es el modo de redondeo predeterminado que se utiliza en la norma sobre la aritmética de coma flotante del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos de los Estados Unidos y, por consiguiente, forma parte de numerosos paquetes de cálculo normalizados. Por ese motivo, el redondeo de empates a impares es el método preferente para la elaboración de sistemas nuevos, aunque si el redondeo de empates a pares ya tiene la consideración de práctica nacional instaurada, se puede seguir aplicando siempre que se haga de forma sistemática. Los métodos que introducen un sesgo sistemático en el redondeo, como el redondeo de los empates al número más alejado de 0 (el método predeterminado de Microsoft Excel) o al siguiente valor más elevado, no son adecuados.

4.8 **Homogeneidad, combinación de estaciones e introducción de estaciones meteorológicas automáticas**

4.8.1 **Homogeneidad**

Nota: En esta sección se ofrece una introducción somera a la cuestión de la homogeneidad de los datos climáticos. Para disponer de un análisis pormenorizado de ese tema, se alienta a los lectores a consultar la publicación *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (OMM, 2003) (Directrices sobre metadatos climáticos y homogeneización) o la versión actualizada de dichas directrices, en fase de elaboración en el momento de redactarse la presente publicación.

Tal y como se ha indicado con anterioridad, las normales climáticas responden a dos objetivos principales: en primer lugar, hacen las veces de indicador de las condiciones que es más probable que se produzcan en una ubicación determinada en el marco del clima actual y, en segundo lugar, constituyen una referencia con la que se pueden comparar las condiciones climáticas en una ubicación concreta (o en una región determinada) en un período de tiempo específico.

Para ambos propósitos, los datos recopilados durante el período de promediación deben ser coherentes y, además, deben ser representativos del período que toma como referencia el

período de promediación. Por ejemplo, si los datos de 2017 se comparan con los de un período de promediación de 1981 a 2010, el emplazamiento y los instrumentos utilizados en el período de 1981 a 2010 deben ser representativos de los que se utilizan en 2017.

Para que se cumplan esos requisitos, los datos utilizados deben ser homogéneos a lo largo de todo el período de promediación, y si se utilizan como referencia para el período actual, también desde el período de promediación hasta la actualidad. Ello significa que todo cambio en los datos evidencia únicamente cambios en el clima de fondo, y no cambios en el modo en que se realizan las observaciones ni en el entorno en que se llevan a cabo. A continuación figuran algunos de los motivos por los que un conjunto de datos podría ser heterogéneo:

- traslado del emplazamiento;
- cambios en los instrumentos;
- cambios en los procedimientos de observación (por ejemplo, un cambio en la definición de día climatológico);
- cambios en el entorno del emplazamiento local (por ejemplo, un cambio en la vegetación o la construcción de un edificio cerca del emplazamiento).

No todos los eventuales casos de heterogeneidad ejercerán un efecto significativo en los datos, y aquellos que sí lo hagan puede que afecten a algunos elementos específicos y no a otros. A modo de ejemplo, cabe citar la sustitución de una superficie de hierba por una superficie pavimentada en las inmediaciones de un emplazamiento, hecho que puede afectar a la temperatura, pero es poco probable que repercuta en la precipitación. Ahora bien, su influencia real debe estudiarse de forma individualizada para cada emplazamiento. Con respecto a la homogeneidad de los datos, si bien sería preferible que un emplazamiento de observación cumpliera los requisitos de clase 1 con arreglo a la clasificación de emplazamientos de las estaciones terrestres de observación en superficie (OMM, 2014, parte I, anexo 1B), el cumplimiento estricto de las normas no es tan trascendental como la coherencia a largo plazo. Por ejemplo, un emplazamiento de observación de la temperatura instalado en un faro en lo alto de un acantilado no cumpliría los requisitos establecidos en la *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos* (OMM, 2014), pero si ha estado durante 100 años en lo alto del mismo acantilado (y no ha sido objeto de ningún otro cambio significativo), todavía es probable que sus datos sean homogéneos.

Incluso un pequeño traslado de un emplazamiento puede ejercer un efecto significativo en la homogeneidad de los datos, en especial en zonas de orografía compleja, y en variables fuertemente influidas por la exposición del emplazamiento local (como la velocidad del viento).

La presencia de una isla urbana de calor no constituye, por sí mismo, un factor que conlleve heterogeneidad. En ese sentido, se ha observado que en zonas urbanas bien establecidas, y siempre que el entorno de las inmediaciones del emplazamiento de observación sea relativamente estable, los datos pueden presentar un grado de homogeneidad razonable. Así, puede decirse, por ejemplo, que un período comprendido entre 1981 y 2010 referido a una zona urbana establecida, en la que toda isla urbana de calor ya estuviera bien instaurada antes de 1980, puede ser representativo del entorno actual de esa zona. Sin embargo, a causa de la naturaleza específica de las zonas urbanas, incluso aunque el conjunto de la localidad o la ciudad esté bien establecido, es probable que, en cuestión de algunos decenios, se produzcan cambios significativos en los edificios situados a poca distancia del emplazamiento de observación, a menos que dicho emplazamiento se encuentre en una zona protegida (por ejemplo, un parque urbano).

A causa de la influencia que la heterogeneidad puede tener en las normales climáticas, se recomienda que para su cálculo se utilicen únicamente datos homogéneos. En particular, la falta de homogeneidad puede suponer que el período de promediación no represente a la actualidad y, por tanto, que se comparen datos actuales con una normal que carezca de representatividad. Sin embargo, se admite que, actualmente, no todos los Miembros disponen de los recursos

necesarios para homogeneizar sus conjuntos de datos nacionales y, por consiguiente, puede que deban calcular normales climáticas sin que se haya evaluado la homogeneidad de los datos subyacentes.

Pueden adoptarse dos estrategias principales en lo concerniente al uso de datos homogéneos en el cálculo de normales climáticas:

- uso exclusivo de aquellas estaciones que se haya determinado que cumplen los criterios de homogeneidad;
- realización de ajustes en los datos históricos a fin de eliminar la heterogeneidad.

Ambas estrategias son, en principio, razonables. Sin embargo, en muchos países solo una proporción relativamente pequeña de las estaciones cuenta con datos totalmente homogéneos. Tras el período de promediación, en especial en aquellos países en los que se ha producido un cambio significativo que afecta a gran parte de la red de observación (por ejemplo, un cambio en la definición de temperatura media diaria, o una transición generalizada de instrumentos convencionales a automáticos), puede que sea necesario utilizar datos ajustados para lograr una densidad aceptable de la red, o contar con datos sobre normales para ubicaciones clave.

La bibliografía sobre la homogeneidad de los datos climáticos es amplia, en especial en el caso de la temperatura (para otros elementos la disponibilidad es menor), tanto en lo referente a la detección de heterogeneidad como en lo relativo a métodos de ajuste. Pueden conllevar el uso de metadatos, métodos estadísticos o una combinación de ambos. Asimismo, también se han elaborado numerosos conjuntos de programas informáticos concebidos para ese fin. En la publicación *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (OMM, 2003) puede consultarse más información al respecto.

4.8.2 ***Uso de la combinación de estaciones***

En muchos casos, no habrá ninguna estación que, por sí sola, satisfaga los requisitos de disponibilidad de datos para el cálculo de una normal climática para un período de promediación dado. Sin embargo, cabe la posibilidad de que, en una región, haya un grupo de estaciones cuyos datos, al agruparlos, formen el conjunto completo de datos a lo largo del período de promediación. Por ejemplo, puede que un emplazamiento de una pequeña localidad en funcionamiento entre 1981 y 1995 haya sido sustituido por otro en un aeropuerto cercano, en funcionamiento desde 1995 hasta la actualidad, y la combinación de los datos de ambos emplazamientos permitirá conseguir el conjunto completo de datos para el período de promediación de 1981 a 2010.

Así, se puede utilizar una serie compuesta de datos obtenida al combinar datos de estaciones para el cálculo de normales climáticas. Para ello, la homogeneidad del conjunto de datos combinado es una condición básica que se consigue bien porque los distintos emplazamientos utilizados en el conjunto compuesto son suficientemente similares, bien porque se han aplicado los ajustes adecuados. Se trata de un proceso que debería llevarse a cabo con sumo cuidado, y tanto los métodos de ajuste como las estaciones empleadas en el conjunto combinado de datos deberían documentarse por conducto de metadatos. Las estaciones también deben estar suficientemente cercanas las unas de las otras y mostrar un grado suficiente de correlación para que el proceso de ajuste se realice con un nivel de confianza elevado. En ese contexto, es de desear un período de datos superpuestos entre las estaciones del conjunto de datos compuesto.

Es importante señalar que la definición del concepto de combinación de estaciones es un tanto arbitraria. En algunos países, una estación puede conservar su identificador incluso después de ser objeto de un traslado notable, mientras que en otros, en cambio, incluso un pequeño movimiento puede suponer que los datos se traten como si procedieran de dos estaciones diferentes. También se dan casos en los que una estación cambia su identificador nacional, pero mantiene un único número de la OMM, o viceversa. En lo que a homogeneidad de los datos se refiere, no existe una diferencia real entre homogeneizar un conjunto de datos combinados

procedentes de múltiples estaciones y homogeneizar un conjunto de datos heterogéneo de una única estación (excepto que un cambio en el identificador de una estación es un elemento que claramente debe figurar en los metadatos).

4.8.3 ***Introducción de estaciones meteorológicas automáticas***

A lo largo de los últimos 20 o 30 años, las estaciones meteorológicas automáticas se han convertido en una parte cada vez más destacada de las redes de observación meteorológica. En algunos países, la mayoría de las observaciones sinópticas, o la totalidad de las mismas, ahora están automatizadas, y es probable que, en los próximos años, una proporción cada vez mayor de las observaciones se efectúe a través de métodos automatizados.

Pocas estaciones meteorológicas automáticas han estado operativas desde 1981, y ninguna mantiene registros de funcionamiento que se remonten a 1961. Por tanto, el uso de estaciones meteorológicas automáticas —cuya instalación irá acompañada, en la mayoría de los casos, de un cambio en el identificador de la estación— en el cálculo de normales climatológicas estándares, o normales de referencia, requiere que se combinen con otra estación (o estaciones) tal y como se describe en la sección 4.8.2.

En ocasiones, una estación meteorológica automática se instala en el mismo lugar que la estación convencional a la que sustituye. En tales casos, y en función de los instrumentos utilizados, cabe la posibilidad de que no exista una heterogeneidad significativa entre ambas en lo que a algunos elementos se refiere, aunque ello siempre debe verificarse. No obstante, en muchos casos, una estación meteorológica automática se encuentra a cierta distancia de la estación convencional. Una situación habitual es aquella en la que una estación convencional de una localidad debe sustituirse por una estación meteorológica automática fuera de los límites municipales, a menudo en un aeropuerto. Ese cambio de emplazamiento puede entrañar una heterogeneidad significativa, que debe abordarse antes de que puedan emplearse datos compuestos en el cálculo de normales climáticas.

La instalación de estaciones meteorológicas automáticas puede conllevar otros tres problemas:

- Las estaciones convencionales solo realizan una cantidad limitada de observaciones por día, mientras que la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas registran datos continuamente. Ello significa que se puede disponer de muchas más observaciones automáticas para calcular parámetros como la presión media diaria o la presión de vapor. Es preferible que los métodos empleados para esos cálculos a lo largo del tiempo sean coherentes en una estación (o combinación de estaciones) y, si fuera posible, en el conjunto de una red. Por ejemplo, si la estación convencional anterior realizaba observaciones únicamente a las 0900 y las 1500, las medias deberían calcularse utilizando únicamente las observaciones de las 0900 y las 1500, incluso aunque la estación automática facilite muchas más observaciones. La introducción de las estaciones automáticas también puede suponer un cambio en la definición de día climatológico, en la medida en que resulta mucho más práctico realizar observaciones para un día climatológico que finaliza a medianoche en una estación automática que en una estación que precisa de observadores humanos. Si bien esos cambios en las definiciones no son deseables, se admite que en algunos países ya se han producido y dar marcha atrás resultaría inviable. En tales casos, un cambio en la cantidad de observaciones por día utilizada en el cálculo de medias, o en la definición de día climatológico, debería tener la consideración de posible heterogeneidad (véase la sección 4.8.2).
- En ocasiones pueden faltar datos en las estaciones tanto convencionales como automáticas (en el caso de estas últimas, la mayoría de las veces a causa del fallo de un instrumento o de un error de comunicación). Para muchos elementos, los datos faltantes de los dos tipos de sistemas pueden tratarse de forma equivalente. Sin embargo, en el caso de la precipitación, aunque un período de observaciones faltantes de una estación convencional a menudo irá seguido de una observación acumulada para el período de datos faltantes, en una

estación automatizada la ausencia de una observación con frecuencia supondrá su pérdida definitiva y, por consiguiente, no se podrá calcular el total mensual. Ello puede acrecentar la importancia del uso de datos estimados para colmar lagunas (véase la sección 4.6).

- En el caso de algunos elementos, la diferencia entre sistemas de observación convencionales y automáticos puede ser tan grande que resulte complicado compararlos, incluso después de aplicarse un ajuste. El ejemplo más habitual es la velocidad del viento, dado que muchas estaciones convencionales realizan estimaciones mediante la escala de Beaufort (o equivalente), y un conjunto de datos de ese tipo es muy difícil de fusionar con conjuntos de datos instrumentales procedentes de estaciones automáticas.

4.9 Metadatos de acompañamiento de las normales climáticas

Deberían mantenerse metadatos para todas las estaciones para las que se calculan normales climáticas. En la publicación *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (OMM, 2003) y en el *Manual del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM* (OMM, 2017, apéndice 2.4) se recoge información adicional sobre los metadatos adecuados.

Si bien no resulta factible suministrar todas las formas disponibles de metadatos para las estaciones en cuestión cuando se publican normales climáticas, a continuación figuran los metadatos que deberían incluirse con las citadas normales:

- identificadores actuales de cada estación (número de la OMM, identificadores nacionales y nombre de la estación);
- latitud, longitud y elevación de cada estación al final del período de promediación;
- información sobre todo cambio significativo en las estaciones durante, o después, del período de promediación y, en caso de haberse producido cualquier ajuste, los métodos empleados para aplicarlo (véase la sección 4.8);
- definición de día climatológico;
- método de cálculo de las medias diarias de temperatura, presión y presión de vapor.

Se espera que, con el paso del tiempo, la aceptación de la plataforma de metadatos del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM reducirá la necesidad de suministrar, junto con las normales climáticas, los metadatos correspondientes por separado.

5. ASPECTOS DE APLICACIÓN

5.1 Motivos para el cálculo de normales climatológicas estándares y normales de referencia

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, las normales climáticas cumplen dos funciones principales: por un lado, permiten predecir de forma implícita las condiciones que es más probable que se produzcan en un futuro próximo en cualquier ubicación dada y, por otro, constituyen una referencia estable con la que comparar cambios a largo plazo en las observaciones climáticas.

En un clima estable, esos dos fines pueden atenderse mediante un período de referencia común. Sin embargo, tal y como se explica en la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007), para aquellos elementos que actualmente muestran una tendencia definida y coherente (en particular la temperatura), el grado de acierto de las normales climáticas es máximo si se actualizan con la mayor frecuencia posible. Es mucho más probable que un período de promediación de 1981 a 2010 sea representativo de las condiciones de 2017 que un período de 1961 a 1990. Por otro lado, las ventajas que entraña el uso de una referencia

estable como punto de referencia para los conjuntos de datos a largo plazo son evidentes, tanto en el plano práctico (no tener que calcular nuevamente cada diez años los conjuntos de datos basados en anomalías) como en materia de comunicación (un año "por encima de la media" no se convierte repentinamente en un año "por debajo de la media" a causa de un cambio en el período de referencia).

Puesto que esos dos fines principales de las normales climáticas se han convertido en mutuamente incompatibles con respecto a sus requisitos para un período de promediación adecuado, la OMM ha resuelto que ambas deberían calcularse (en función de la disponibilidad de los datos). Aunque el mayor grado de acierto se conseguiría con la actualización anual de las normales climatológicas estándares, se admite que ello resulta inviable para muchos países y, por consiguiente, se ha decidido que deberían actualizarse cada diez años, por lo que la siguiente actualización está prevista para después de finales de 2020.

En la práctica, en la mayoría de los países los conjuntos de datos a largo plazo utilizados para la vigilancia del cambio climático se presentan en formato acumulado espacialmente (por ejemplo, un conjunto de datos reticulados o una anomalía promediada por zona obtenida a partir de datos reticulados o la promediación de estaciones). Ello significa que, en la mayoría de las ocasiones, las normales de referencia en estaciones concretas se calcularán como paso intermedio del proceso de generación de un conjunto de datos regional o reticulado, y no como algo ampliamente utilizado por derecho propio.

Se espera que, en la mayoría de los contextos, las normales climáticas de las estaciones se notificarán mediante la normal climatológica estándar (1981-2010 en el momento de la redacción de las presentes directrices). Algunos países están en disposición de notificar normales para múltiples períodos según los requisitos del usuario; cuando exista esa capacidad, debería conservarse, aunque manteniendo el de las normales climatológicas estándares como período principal. Es de esperar, asimismo, que el período de las normales climatológicas estándares se utilice para productos de vigilancia, como los mapas de anomalías mensuales y estacionales, no destinados específicamente a la vigilancia del cambio climático, además de ser la base de referencia para la predicción climática estacional.

5.2 Posibles usos de las medias para períodos no normalizados

En algunos contextos, puede que los usuarios deseen utilizar períodos distintos a los de las normales climatológicas estándares o las normales de referencia. A continuación se describen algunos de ellos.

5.2.1 *Uso de períodos de 30 años no normalizados en productos históricos*

En algunos productos históricos, el uso de períodos de 30 años distintos a los períodos normalizados puede conllevar ventajas. Uno de esos casos es, por ejemplo, la preparación de un conjunto de datos reticulados mediante la integración en un patrón climático de un campo de anomalías generado a partir de anomalías observadas a nivel de estación (Jones y otros, 2009).

Para un conjunto de datos de esa naturaleza, la primera prioridad consiste en aumentar al máximo la cantidad de estaciones que registran datos durante ese período y que permiten el cálculo de una normal. A la hora de generar las retículas para días de los años comprendidos entre 1911 y 1940, en el conjunto de datos de Jones y otros (2009) (un conjunto de datos históricos reticulados que engloban Australia) se utilizó, a fin de generar el conjunto de datos definitivo, un período de promediación de 1911 a 1940 como base del patrón climático subyacente y las anomalías de estación integradas al mismo. La elección de ese planteamiento se debe a que, en el caso de muchas de las estaciones con datos correspondientes al período 1911-1940, no se disponía de una cantidad suficiente de datos sobre los años más recientes que permitiera calcular una normal para el período 1961-1990 o una normal para el período 1981-2010. Además, puesto que para calcular una anomalía con fines de análisis es preciso contar con una normal de una estación, el uso de un período de promediación de 1911 a 1940 permitió incorporar más estaciones al análisis de ese mismo período de las que se habrían podido

utilizar con un período de promediación más reciente. De forma análoga, se utilizó una base de referencia de 1941 a 1970 para la elaboración de las retículas del período 1941-1970.

5.2.2 **Uso de un período de más de 30 años para el cálculo de estadísticas de orden superior**

Cabe la posibilidad de que un período de 30 años no baste para captar el posible rango de variación completo de un elemento, en especial para un elemento como la precipitación, cuya variabilidad puede ser muy acusada en el tiempo y el espacio. Aunque se sigue recomendado un plazo de 30 años como período de promediación normalizado para el cálculo de los límites de los quintiles en normales climatológicas estándares (y, por tanto, como base para la notificación de los valores de los quintiles en mensajes CLIMAT), es probable que, para algunos elementos, la estabilidad de estadísticas más extremas calculadas a partir de ese período sea baja.

Dos estrategias que permiten solventar ese problema consisten en aplicar una distribución estadística, como una distribución gamma, a los datos observados en un período de 30 años normalizado (un planteamiento abordado con mayor nivel de detalle en la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007)) o bien en utilizar un período de datos sustancialmente mayor de 30 años. A modo de ejemplo, cabe citar los cuantiles de precipitación de los datos de precipitación de Australia, en particular los percentiles quinto y décimo que forman parte integral de las definiciones normalizadas para la vigilancia de la sequía, obtenidos al utilizar el período de registro completo desde 1900 hasta la actualidad. Conviene destacar que en la mayoría de los climas resultaría complicado obtener un valor estable del quinto percentil a partir de 30 años de datos.

Otra aplicación en la que resulta conveniente disponer del registro más prolongado posible es la notificación de valores extremos. Muchos usuarios mostrarán interés por los valores más alto y más bajo jamás registrados en una ubicación, con independencia de si se enmarcan o no en un período de promediación normalizado (aunque los valores extremos de un período de 30 años siguen resultando valiosos para algunas aplicaciones, como los análisis de valores extremos normalizados). Cuando resulte posible, deberían notificarse parámetros extremos tanto para el período de la normal climatológica estándar como para todos los años de observaciones útiles disponibles⁵.

5.2.3 **Uso de períodos de promediación más breves**

Numerosas estaciones no contarán con datos suficientes para el cálculo de una normal climatológica estándar o una normal de referencia.

Es probable que los usuarios de esos lugares todavía deseen una indicación de las condiciones climáticas que es más probable que se produzcan en sus ubicaciones, así como de las anomalías de los elementos más importantes. Una opción consiste en utilizar un registro compuesto como el descrito en la sección 4.8, para lo que se requiere la existencia de una estación o estaciones más antiguas que puedan incluirse en una combinación a fin de cubrir el período de promediación normalizado completo. Puede que una estación de esas características no esté disponible en todos los casos. La capacidad para calcular anomalías en una estación con cierto grado de confianza también es importante para la incorporación de los datos de esa estación a múltiples conjuntos de datos reticulados.

En la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007) se observó que, para la mayoría de los parámetros de media y suma (no parámetros extremos ni propiedades estadísticas de orden superior como los cuantiles), 10-12 años de datos brindaban un grado de acierto similar al proporcionado por un período normalizado de 30 años. Asimismo,

⁵ No se incluyen los períodos cuyos datos son manifiestamente heterogéneos con respecto a la actualidad, por ejemplo, las observaciones de temperatura realizadas durante el siglo XIX o a principios del siglo XX con abrigos para instrumentos no normalizados.

también se determinó que períodos de menos de 10-12 años todavía podían ofrecer resultados eficaces al combinar los datos observados durante períodos más breves con anomalías interpoladas espacialmente de estaciones de la región con registros de datos a largo plazo. Si bien esos períodos breves no pueden considerarse normales climatológicas estándares ni normales de referencia, todavía resultan de utilidad para numerosos usuarios y, en muchos casos, el cálculo de esos promedios de forma operativa también redundará en ventajas. Se alienta a los lectores que deseen más información al respecto y que quieran conocer posibles métodos a que consulten la sección 7.2 de la publicación *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM, 2007).

6. ASPECTOS DE COMUNICACIÓN

La definición y el uso de normales climáticas debe documentarse y comunicarse con precisión y claridad a fin de evitar eventuales errores de interpretación. Las normales climáticas y, en particular, las normales climatológicas estándares y las normales de referencia se utilizan ampliamente como referencias que permiten evaluar las anomalías climáticas, la variabilidad del clima y el cambio climático. Por consiguiente, se recomienda encarecidamente especificar de forma notoria la normal exacta que se ha utilizado para cualquier producto y servicio climático, cuando proceda.

En caso de actualización de la normal climatológica estándar, se recomienda, asimismo, la inclusión de una nota explicativa destinada a todos los usuarios de los productos y servicios pertinentes. Algunos Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales preparan documentación de carácter interno para el personal pertinente, además de un comunicado de prensa, en los que se explica la naturaleza de las normales y su uso, así como los cambios en los productos y servicios pertinentes fruto de la aplicación de las normales actualizadas.

7. PROCESO DE PRESENTACIÓN DE NORMALES CLIMATOLÓGICAS ESTÁNDARES Y NORMALES DE REFERENCIA

Deberían calcularse normales climáticas para el conjunto de estaciones más amplio que sea posible, a condición de que cada estación cumpla las normas en cuanto a cantidad e integridad de los datos disponibles. Como mínimo, deberían calcularse, si resulta posible, para todas las estaciones cuyos datos se distribuyen por conducto del Sistema Mundial de Telecomunicación (OMM, 2011, sección 4.8.2).

La OMM, en virtud de los acuerdos técnicos pertinentes, ha recopilado las normales climatológicas estándares y las ha puesto a disposición de los usuarios, y continuará con esa práctica. La Secretaría de la OMM realizará llamamientos para que los Miembros de la OMM faciliten las normales climatológicas estándares de sus estaciones de observación, y proporcionará instrucciones pormenorizadas sobre los métodos de cálculo y presentación. Esos llamamientos de la OMM, que por lo general se realizarán cada 10 años después del 1 de enero de un año terminado con el dígito 1, pueden ampliarse a fin de incluir actualizaciones de las normales de referencia del período 1961-1990 a medida que se disponga de más datos en todo el mundo gracias a las actividades de rescate de datos.

Las normales, y en una situación idónea las normales climatológicas estándares, también se utilizan para el intercambio de datos de la OMM por conducto de la clave internacional FM 71 CLIMAT (informe de valores mensuales proveniente de una estación terrestre). En el *Manual de claves* (OMM, 2016a) se ofrecen las disposiciones particulares pertinentes, incluidos los casos de actualización de las normales.

8. REFERENCIAS

- Jones, D. A., W. Wang y R. Fawcett, 2009: "High-quality spatial climate data-sets for Australia", en *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 58:233-248.
- Organización Meteorológica Mundial, 1989: *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (WMO/TD-No. 341). Ginebra.
- , 1992: *Vocabulario Meteorológico Internacional* (OMM-N° 182). Segunda edición. Ginebra.
- , 1998: *1961-1990 Global Climate Normals (CLINO), Version 1.0* (WMO-No. 847). Ginebra.
- , 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-No. 1186). Ginebra.
- , 2007: *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante* (OMM/DT-N° 1377). Ginebra.
- , 2009: *Manual sobre la preparación de informes CLIMAT y CLIMAT TEMP* (OMM/DT-N° 1188). Ginebra.
- , 2011: *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N° 100). Ginebra.
- , 2014: *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos* (OMM-N° 8). Ginebra.
- , 2015: *Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial* (OMM-N° 1157). Ginebra.
- , 2016a: *Manual de claves, volumen I.1, Anexo II al Reglamento Técnico de la OMM: parte A – Claves alfanuméricas* (OMM-N° 306). Ginebra.
- , 2016b: *Documentos básicos, 2. Reglamento Técnico, Volumen I: Normas meteorológicas de carácter general y normas recomendadas* (OMM-N° 49). Edición de 2015, actualización de 2016. Ginebra.
- , 2017: *Manual del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM* (OMM-N° 1160). Edición de 2015, actualización de 2017. Ginebra.
-

Para más información, diríjase a:

Organización Meteorológica Mundial

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suiza

Oficina de comunicación y de relaciones públicas

Tel.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: cpa@wmo.int

public.wmo.int