

# Directrices para el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad de los datos de estaciones de observación en superficie para aplicaciones climáticas

Edición de 2021

TIEMPO CLIMA AGUA



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-N° 1269



# Directrices para el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad de los datos de estaciones de observación en superficie para aplicaciones climáticas

Edición de 2021



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-N° 1269

#### NOTA DE LA EDICIÓN

METEOTERM, base terminológica de la OMM, está disponible en la página web: <https://public.wmo.int/es/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° 1269

© Organización Meteorológica Mundial, 2021

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](mailto:publications@wmo.int)

ISBN 978-92-63-31269-3

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

Página

AGRADECIMIENTOS .....	vii
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PRINCIPIOS Y REQUISITOS GENERALES PARA UNOS DATOS DE ALTA CALIDAD PARA APLICACIONES CLIMÁTICAS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Principios generales .....	3
2.2 Requisitos para unas observaciones para aplicaciones climáticas adecuadas ..	3
2.3 Requisitos para la supervisión técnica .....	4
2.4 Requisitos para unas prácticas de gestión de datos climáticas adecuadas .....	5
2.5 Consideraciones generales para el diseño de un sistema de control de la calidad	6
2.5.1 Consideraciones en relación con la automatización .....	6
2.5.2 Diseño y ejecución de un sistema de control de la calidad.....	7
<b>3. ELEMENTOS DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CICLO DE VIDA DE LOS DATOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 Información general.....	9
3.2 Paso 1: Observación .....	10
3.2.1 Normas relativas a la observación .....	10
3.2.2 Metadatos de las observaciones.....	11
3.2.3 Control de calidad en la estación .....	12
3.2.4 Mantenimiento.....	13
3.2.5 Supervisión técnica .....	13
3.3 Paso 2: Entrega y captación de datos.....	14
3.3.1 Introducción manual de datos mediante teclado .....	15
3.3.2 Captación de datos por medios electrónicos .....	15
3.3.3 Detección de errores sistémicos .....	16
3.4 Paso 3: Control de la calidad en la base de datos climáticos.....	16
3.4.1 Introducción .....	16
3.4.2 Tratamiento de las diferencias entre emplazamientos.....	17
3.4.3 Tratamiento de los datos de alta frecuencia .....	18
3.4.4 Control de la calidad de valor añadido .....	19
3.4.5 Banderines de fuente y calidad .....	20
3.4.6 Perspectivas futuras del control de la calidad .....	22
3.5 Paso 4: Archivo final .....	23
3.6 Paso 5: Recuperación en caso de desastre.....	23
<b>4. FUNCIÓN DEL ENCARGADO DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD .....</b>	<b>25</b>
<b>ANEXO 1. PRUEBAS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y DE CONTROL DE LA CALIDAD: VISIÓN GENERAL.....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO 2. PRUEBAS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y DE CONTROL DE LA CALIDAD: DETALLES .....</b>	<b>34</b>





## **AGRADECIMIENTOS**

El personal encargado de la gestión de datos climáticos de la Oficina de Meteorología de Australia (BOM) elaboró la primera versión de las presentes Directrices, que incorporan muchas de las metodologías que utiliza el programa informático del sistema de gestión de la calidad de la BOM, que es de alto rendimiento. Se agradece especialmente la labor de Meaghan Flannery, John Flannery y Lynda Chambers. Reinhard Spengler (Servicio Meteorológico Nacional de Alemania (DWD)) y William Wright (exfuncionario de la BOM) revisaron y editaron la primera versión de la presente publicación con la ayuda de David Sinclair (BOM), que también añadió algunas pruebas adicionales, y Peer Hechler (Organización Meteorológica Mundial (OMM)). A continuación, se llevó a cabo un proceso abierto de revisión por pares, en el que se solicitaron los comentarios de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) y de los miembros del Equipo de Expertos de la OMM sobre la Elaboración y la Gestión de Datos. Sus contribuciones mejoraron considerablemente el presente documento y merecen un especial agradecimiento.



## 1. INTRODUCCIÓN

Esta publicación sustituye al documento técnico de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) titulado *Guidelines on the Quality Control of Surface Climatological Data* (WMO/TD-No. 111) (WCP-No. 85) (Directrices para el control de la calidad de los datos climatológicos de superficie), de mayo de 1986. Proporciona una visión general —de nivel relativamente alto— de los principios básicos para un aseguramiento de la calidad de los datos climáticos eficaz, así como de las consideraciones para el aseguramiento y el control de la calidad operativos de los datos meteorológicos procedentes de estaciones de observación en superficie en varias etapas del ciclo de vida de los datos. En los anexos se proponen una serie de pruebas de aseguramiento y control de la calidad clasificadas como obligatorias, recomendadas y opcionales. Está previsto que, con el tiempo, la presente publicación se perfeccione y amplíe para reflejar los últimos avances y cubrir otras fuentes de datos climatológicos.

Si bien forma parte del continuo del aseguramiento y el control de la calidad de los datos climáticos, la homogeneización de datos se trata por separado en las *Directrices sobre homogeneización* (OMM-Nº 1245), por lo que no se aborda en el presente documento. Otros procesos que aportan valor añadido, como el relleno de los datos faltantes y la desagregación de los totales acumulados de precipitación o evaporación, también están fuera del alcance de las presentes directrices.

El presente documento se centra en los datos de observación en superficie que procesan los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN), pero la filosofía y los principios subyacentes también se aplican a otras entidades especializadas en el control de la calidad. Las presentes Directrices son plenamente acordes con la publicación *Climate Data Management System Specifications* (WMO-No. 1131) (Especificaciones del Sistema de Gestión de Datos Climáticos), en la que se precisan las funciones necesarias para gestionar eficazmente los datos climáticos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la instalación de la estación hasta el archivo final.

En el presente documento, el aseguramiento de la calidad se refiere al proceso aplicado para que los conjuntos o colecciones de datos mantengan un nivel de calidad satisfactorio, de modo que los datos disponibles para los usuarios potenciales sean suficientemente fiables y completos y puedan utilizarse con confianza. El aseguramiento de la calidad debe entenderse como un proceso integral que se extiende desde el punto de observación hasta el archivo climático, pasando por los canales de transmisión de datos. El proceso de aseguramiento de la calidad debería facilitar la determinación de patrones sistémicos de error, de haberlos, en cualquier punto del ciclo de vida de los datos; estos errores pueden deberse, por ejemplo, a una instalación que incumpla la normativa, a una técnica de observación deficiente, a problemas con la tecnología de medición o su programa informático, a fallos de mantenimiento o a cualquier problema de procesamiento previo (como los problemas de la unidad central de procesamiento de una estación meteorológica automática (EMA)). La comunicación de información a los proveedores de observaciones y la rectificación de los problemas detectados también forman parte del proceso de aseguramiento de la calidad. En el presente documento, el control de la calidad se refiere a las herramientas y prácticas empleadas para verificar si el valor de un dato notificado es representativo de lo que se pretendía medir y no se ha visto afectado por factores no relacionados con el mismo (véase la *Guía de instrumentos y métodos de observación* (OMM-Nº 8)). El control de la calidad es el proceso que garantiza la detección de errores en los datos, o en su continuidad, mediante la comprobación de los mismos para evaluar su representatividad en el tiempo y el espacio y la coherencia interna, así como mediante la señalización de cualquier posible error o incoherencia.

Aunque los servicios climáticos requieren datos de series temporales de alta calidad, en el presente documento no se ha intentado adaptar el proceso de control de la calidad a ninguna aplicación climática específica, como el monitoreo del cambio climático, ni a servicios específicos que puedan tener requisitos adicionales de valor añadido (como la homogeneización o el relleno de datos faltantes, entre otros). Por último, cabe señalar que las pruebas de control de la calidad

(y los procedimientos más amplios de control de la calidad) deben adaptarse a las condiciones climáticas concretas de cada país y ajustarse a la infraestructura de observación y de tecnología de la información actual o prevista, así como a los recursos humanos disponibles.

---

## 2. **PRINCIPIOS Y REQUISITOS GENERALES PARA UNOS DATOS DE ALTA CALIDAD PARA APLICACIONES CLIMÁTICAS**

En las siguientes secciones se destacan las prácticas genéricas que se consideran esenciales para garantizar que el registro de datos climáticos obtenidos en superficie de un Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SMHN) sea de alta calidad. En el [capítulo 3](#) se ofrecen orientaciones más detalladas.

### 2.1 **Principios generales**

- Debe establecerse un proceso de aseguramiento de la calidad que abarque el ciclo de vida de los datos, desde la instalación del equipo y la observación hasta el archivo final.
- Todos los métodos y prácticas empleados para garantizar la calidad y la trazabilidad a lo largo de todo el ciclo de vida de los datos deben documentarse de forma exhaustiva; todos los documentos pertinentes deben conservarse y ser accesibles.
- Deben establecerse acuerdos con los proveedores de datos para garantizar la realización y el mantenimiento de las observaciones con fines climáticos, así como el cumplimiento de los diez principios del Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS) en materia de monitoreo del clima (véase la [Guía de prácticas climatológicas](#) (OMM-N° 100)).
- Deben utilizarse pruebas y procedimientos de control de la calidad objetivos, y los resultados de las pruebas de cada elemento de los datos deben señalarse claramente.
- Siempre debe conservarse un ejemplar de los datos originalmente leídos o recibidos, aunque se consideren dudosos<sup>1</sup>.
- Todos los SMHN deben contar con un encargado del aseguramiento de la calidad de los datos que se ocupe de supervisar todo el proceso de aseguramiento de la calidad a lo largo del ciclo de vida de los datos.
- Los procesos de aseguramiento de la calidad requieren información sobre las fuentes de error. Se recomienda que haya un intercambio periódico de información entre el encargado del aseguramiento de la calidad y el personal responsable de los sistemas de observación de los SMHN, de modo que las fuentes de errores sistémicos puedan abordarse y los correspondientes problemas puedan rectificarse.

### 2.2 **Requisitos para unas observaciones para aplicaciones climáticas adecuadas**

- El emplazamiento de observación debe ser representativo del entorno definido.
- Todos los emplazamientos y variables de observación, en particular la clasificación del emplazamiento y la clasificación del rendimiento sostenido, deben clasificarse de acuerdo con la [Guía de instrumentos y métodos de observación](#) (OMM-N° 8).
- Las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) deben contar con registradores de datos (registro automático de datos) a los que se pueda acceder y que sirvan para restaurar la información en el Sistema de Gestión de Datos Climáticos (CDMS) y para permitir el recálculo automático de los parámetros derivados, incluidos el punto de rocío, la presión al nivel medio del mar, etc.

---

<sup>1</sup> A veces, una lectura original no representará claramente las condiciones meteorológicas, pero tendrá valor científico por sí misma. Por ejemplo, una lectura de temperatura elevada puede deberse a la ocurrencia de un incendio forestal cerca de una estación. En estos casos, la lectura original no formará parte del registro climático oficial, pero seguirá estando disponible para la investigación y otros fines. Véase también la nota al pie 4.

#### 4 DIRECTRICES PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD Y EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS DATOS DE ESTACIONES DE OBSERVACIÓN EN SUPERFICIE PARA APLICACIONES CLIMÁTICAS

- Los registradores de datos deben cumplir los requisitos técnicos establecidos por los SMHN y, antes de usarlos, deben someterse a prueba y aceptarse.
- Las pruebas antes del despliegue, la calibración y las pruebas de aceptación son necesarias para garantizar que los sensores del instrumental o el programa informático y los sensores de la EMA cumplen los requisitos específicos, entre los cuales figura que los canales de comunicación sean suficientemente robustos.
- Los manuales de observación deben figurar entre la documentación de los procesos de un SMHN y deben estar fácilmente disponibles.
- Los observadores deben recibir formación periódica, especialmente cuando se produzca algún cambio en las prácticas de observación.
- Los SMHN deben velar por que las estaciones se inspeccionen periódicamente, entre otras cosas, mediante visitas al emplazamiento a intervalos adecuados, para verificar si es necesario o no realizar labores de mantenimiento y si deben cambiarse los sensores, así como para mantener unas condiciones de observación adecuadas en el emplazamiento. Se debería comprobar periódicamente la recalibración de los sensores.
- En caso de cambios en el equipo informático del sensor (como el tipo o el fabricante) o en un emplazamiento de observación, habría que realizar mediciones paralelas (tanto del sensor en uso como del nuevo o del emplazamiento en uso y del nuevo) durante un período de al menos un año<sup>2</sup>(preferentemente dos años). Tanto los datos originales como los paralelos y los metadatos de las observaciones conexas deben archivar y conservarse a perpetuidad.
- Los SMHN deben elaborar unas directrices en las que se especifiquen los mínimos de calidad que los proveedores de datos externos deben alcanzar, incluidos los requisitos en materia de metadatos de observación (el suministro de material de formación puede ayudar a los proveedores de datos externos a cumplir esas normas).

### 2.3 Requisitos para la supervisión técnica

- **Supervisión de errores en la captación de datos:** Es necesario contar con un sistema de alerta que evite aquellas circunstancias que podrían suponer la corrupción de los datos o su sobrescritura o eliminación inadvertidas o, en caso de que se produzcan tales circunstancias, que permita detectarlas y corregirlas rápidamente. Este sistema debe someterse a pruebas de aceptación por parte de los usuarios antes de su puesta en marcha, y los resultados de los procesos de control de la calidad deben analizarse periódicamente. También deben establecerse procesos automatizados para asegurar la recepción de los datos esperados, la exactitud de las marcas de tiempo y la factibilidad de los datos captados.
- **Supervisión del flujo de datos:** Debería utilizarse un sistema de supervisión en tiempo real de los equipos técnicos (EMA, sensores, equipos de transmisión de datos), de modo que puedan detectarse y solucionarse rápidamente los posibles fallos de funcionamiento (se sabe que el incumplimiento de esta norma ha provocado importantes pérdidas de datos del registro climático que pueden no descubrirse hasta meses después).
- **Procesos de recuperación de datos:** Cuando las alertas indican que faltan datos o que estos están dañados de alguna manera, deben preverse procedimientos normalizados de operación para recuperar la versión original de los datos en cuestión; por ejemplo, los datos de una EMA deberían estar almacenados en la memoria intermedia, o tendrían que poder recuperarse desde un registrador de datos que contara con un período de retención

<sup>2</sup> En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-Nº 100) se recomienda que, cuando resulte factible y práctico, tanto las estaciones e instrumentos de observación antiguos como los nuevos deberán seguir funcionando simultáneamente durante un período de por lo menos un año, pero preferentemente de dos años o más, para determinar los efectos del cambio de instrumento o emplazamiento en los datos climatológicos.

de datos de duración suficiente. Estas faltas de datos suelen deberse a problemas de comunicación más que a un fallo del propio sensor. Hay que actuar con rapidez porque los registradores de datos de las EMA o las bases de datos anteriores al CDMS (donde a menudo se almacenan primero los datos que llegan a un SMHN) en general conservan los datos solo durante unos días antes de que se sobrescriban. Por lo tanto, si, como consecuencia de un seguimiento inadecuado de estos procesos, las pérdidas de datos no se detectan durante algún tiempo, podría producirse una pérdida significativa para el registro climático.

- Cualquier problema con los sensores y las pérdidas de datos debe abordarse lo antes posible y documentarse; asimismo, se debe informar a los usuarios de los datos tanto de la aparición como de la rectificación del problema.
- Incumbe al proveedor de datos o al departamento de tecnología de la información investigar y resolver cualquier proceso que provoque la pérdida o alteración de datos, y deben existir protocolos internos adecuados para ello.

#### 2.4 **Requisitos para unas prácticas de gestión de datos climáticas adecuadas**

- Desde el punto de vista de la trazabilidad de los datos, es importante poder rastrear la procedencia de los datos desde el sensor hasta el archivo. Esto puede lograrse manteniendo un registro de las mediciones originales, así como de cualquier cambio realizado en los datos.
- Los banderines de calidad son un componente esencial de la gestión de datos; proporcionan una medida de confianza de la veracidad de los datos<sup>3</sup> (el tema de los banderines de fuente y de calidad se trata con más detalle en la [subsección 3.4.5](#)).
- Los procedimientos de control de la calidad deben documentarse detalladamente y, si es necesario, ponerse a disposición de los usuarios de los datos, preferiblemente en línea.
- Cualquier alteración realizada en los valores medidos u observados debe señalarse y documentarse como parte de los metadatos y se debe conservar tanto el valor original como el alterado.
- Los datos normalmente se someten a varios pasos de aseguramiento de la calidad (descritos en la [sección 3](#)). Los resultados de las pruebas de control de la calidad de cada paso deben documentarse, entre otros medios, asignando un banderín de calidad. Así, por ejemplo, se pueden asignar banderines de calidad a los datos en el punto de observación, en la captación y tras el control de la calidad en modo diferido dentro de un CDMS.
- Los valores dudosos o sospechosos que se han modificado no deben eliminarse, sino almacenarse junto con su evaluación de calidad<sup>4</sup>.
- Al recuperar los datos medidos u observados, los usuarios de los datos deben tener acceso a toda la información sobre la calidad disponible (incluidas las explicaciones). Se puede distinguir entre los usuarios internos del SMHN, que pueden necesitar información muy detallada, y los usuarios externos, a los que probablemente solo les interese acceder a los datos que han pasado los controles de calidad pertinentes.
- Los metadatos de observación respaldan los datos, proporcionan información sobre la procedencia, pueden ayudar a investigar los datos sospechosos y son esenciales para la

<sup>3</sup> Al momento de preparar la presente publicación, no existe ningún documento de orientación normalizado de la OMM sobre la definición de los banderines de calidad de los datos; pero está previsto que la Organización elabore un documento de ese tipo en un futuro próximo.

<sup>4</sup> Naturalmente, corresponde a los SMHN asegurar que el registro climático que se presenta a los usuarios sea del más alto nivel posible y capaz de respaldar de forma fiable los servicios climáticos. Los valores erróneos no deben aparecer en esta versión pública del registro climático, pero deben estar disponibles si se requieren para consulta pública o para ayudar a detectar y solucionar problemas de medición o del programa informático.

aplicación de la homogeneización. Por ello, su conservación durante al menos la vida de los datos debe considerarse una práctica obligatoria. Es importante que el operador del control de la calidad, así como los usuarios de los datos, pueden acceder fácilmente a estos metadatos.

Notas:

- 1) En la publicación *Climate Data Management System Specifications* (WMO-No. 1131) (Especificaciones del Sistema de Gestión de Datos Climáticos) figura información detallada sobre las prácticas adecuadas de gestión de datos y gestión de calidad.
- 2) En el *Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad* (OMM-N° 1238), que forma parte del material normativo de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se establecen normas y prácticas recomendadas para la gestión de datos climáticos.

## 2.5 Consideraciones generales para el diseño de un sistema de control de la calidad

### 2.5.1 Consideraciones en relación con la automatización

Los procedimientos de control de la calidad pueden aplicarse de forma manual, automática o semiautomática en cada etapa del ciclo de vida de los datos. Aunque los detalles de estos procedimientos variarán de una EMA a otra, una secuencia típica de pasarelas de control de la calidad puede incluir lo siguiente:

- Control de la calidad en el punto de observación. Por ejemplo, un observador manual que esté a punto de registrar una observación electrónicamente procederá a comprobar el valor propuesto si los algoritmos sugieren que el valor es poco probable. En el caso de las observaciones de EMA, pueden incorporarse varias comprobaciones automáticas basadas en los detalles de la frecuencia de muestreo y los resultados y las comprobaciones de rango.
- Control de la calidad en las bases de datos anteriores al CDMS para respaldar la generación de productos en tiempo real.
- Control de la calidad en el punto de captación del CDMS, que puede eliminar automáticamente los valores que no superen un rango ampliado u otras comprobaciones (aunque debe conservarse una copia del propio valor).
- Control de la calidad en el CDMS después de la captación (manual, semiautomático o automático).

La siguiente explicación se refiere únicamente al control de la calidad de los datos dentro de un CDMS. A veces se denomina control de la calidad en modo diferido porque el control de la calidad puede producirse en algún momento después de que se haya realizado la observación y se hayan captado los datos. El control de la calidad en modo diferido puede incluir controles manuales, automáticos o semiautomáticos, o cualquier combinación de ellos. En el presente documento no se recomienda específicamente qué comprobaciones son óptimas, ya que ello dependerá de consideraciones como la naturaleza de los datos, el número de estaciones y los recursos para el control de la calidad disponibles (no obstante, se señala que las comprobaciones de control de la calidad deberían tener lugar lo antes posible para que, en caso de que surja la necesidad de verificar un valor con un observador, este aún recuerde el evento).

En líneas generales, el control de la calidad en modo diferido consiste en aplicar pruebas de control de la calidad, asignar un banderín de calidad que debería formar parte de los metadatos de las observaciones y archivar los datos y metadatos, junto con los detalles de cualquier corrección, como parte de un registro de auditoría. Como su nombre indica, el control de la calidad manual se refiere a las comprobaciones que los operadores de control de la calidad realizan a los datos. Por lo general, es un trabajo intensivo y subjetivo que depende en gran medida de los conocimientos y la experiencia de dichos operadores. Las técnicas manuales pueden resultar adecuadas cuando hay pocas estaciones y el acceso al programa informático de diagnóstico de control de la calidad es limitado. Por otro lado, el control de la calidad automático



consiste en el proceso de escaneo de los datos y asignación de banderines de calidad de forma totalmente automática, es decir, sin intervención manual. Es la forma más rápida de procesar los datos entrantes. No obstante, las pruebas totalmente automatizadas pueden tender a marcar demasiados valores potencialmente sospechosos (falsos positivos), o muy pocos, dependiendo de cómo se establezcan los parámetros de selección, y pueden marcar algunos extremos reales como sospechosos, lo que no es deseable dado el creciente interés científico en los cambios en los extremos para el monitoreo del clima.

Las técnicas semiautomáticas representan una fórmula intermedia entre las técnicas manuales y las totalmente automáticas. En este caso, los datos se someten a una comprobación automática con respecto a una serie de criterios de prueba, y los valores que no superan una prueba (o varias) se marcan como sospechosos y se someten a una investigación manual de seguimiento por parte de personal de control de la calidad capacitado. Para diagnosticar adecuadamente si un valor sospechoso es erróneo o no, se recomienda que los operadores de control de la calidad estén equipados con un conjunto de herramientas fácilmente accesibles que, según se desprende de la experiencia, son útiles para diagnosticar errores. Estas herramientas pueden facilitar el uso de datos complementarios de satélite o radar (para evaluar las situaciones de lluvia/no lluvia), así como de datos de radiosonda, y pueden proporcionar medios para acceder al mensaje original (que puede estar cifrado incorrectamente). Otros medios para diagnosticar si un valor sospechoso es erróneo o no son el trazado de valores en un mapa para comprobar la coherencia espacial y el trazado de una serie temporal en una estación y su comparación con las de estaciones vecinas (en el caso de las lluvias, este tipo de comprobación suele ayudar a detectar los casos en los que las lluvias se registraron en un día equivocado o representan un total acumulado) y la comparación de los datos con el resultado del modelo de predicción numérica del tiempo (PNT) para el mismo tiempo/ubicación.

Cabe señalar que, con los datos de alta frecuencia, como los datos subhorarios de las EMA, las técnicas automáticas son probablemente la única opción realista para el control de la calidad, aunque, incluso en ese caso, se debería investigar, a ser posible, con algún tipo de comprobación de seguimiento si el error se debe a un fallo del programa informático o a un fenómeno físico, como un incendio forestal o un aspersor encendido.

En el futuro, es probable que, gracias a las técnicas de aprendizaje automático, incluidos los enfoques de sistemas expertos, se puedan lograr mejoras en la automatización del control de la calidad. Se aconseja a los SMHN que se mantengan al tanto de esos avances en el ámbito de la ciencia de los datos y sus posibles aplicaciones.

Otra consideración a la hora de realizar las pruebas de control de la calidad es si se efectúan en paralelo o de forma secuencial. Por ejemplo, cuando se realizan comparaciones con estaciones vecinas, puede ser conveniente primero descartar de las pruebas a las estaciones probablemente erróneas.

Por último, cabe mencionar que, en el caso de los datos transcritos a un CDMS a partir de formularios en papel, es probable que los errores de introducción mediante teclado sean una gran fuente de errores. Para mitigar ese riesgo, se pueden aplicar comprobaciones en el momento de la introducción de los datos para alertar al operador que realiza esa introducción de posibles valores mal escritos. Si los recursos del SMHN lo permiten, la introducción de datos por duplicado ha demostrado ser muy eficaz para mitigar los errores de introducción de datos mediante teclado. La introducción de datos mediante teclado por duplicado o más veces se recomienda especialmente cuando se digitalizan datos históricos como parte de un proceso de rescate de datos.

## 2.5.2 ***Diseño y ejecución de un sistema de control de la calidad***

- En el caso de los sistemas manuales o semiautomáticos, se recomienda encarecidamente que, cuando se diseñe el sistema, se introduzca el control de la calidad de toda variable nueva, o se modifique el sistema de control de la calidad existente, y los operadores de control de la calidad que vayan a utilizar el sistema participen en las fases de planificación y ejecución desde el principio. Esto garantizará que el sistema se ajuste al entorno

operativo real en el que van a trabajar los operadores y hará que sientan el sistema como propio. Además, los operadores del control de la calidad pueden recomendar los medios de diagnóstico que consideren útiles. Además, se recomienda que, cuando se diseñe o implante un sistema informático, se sigan metodologías ágiles y los desarrolladores trabajen directamente con el personal que lleva a cabo las operaciones de control de la calidad para abordar, por ejemplo, los procesos operativos de toma de decisiones y las deficiencias del sistema.

- Deben recopilarse y actualizarse las estadísticas sobre errores y falsos positivos (cuando las rutinas de comprobación marcan un valor como sospechoso, para que posteriormente se verifique que es fiable). Estas proporcionan información sobre los errores sistémicos que se comunicarán a los proveedores de datos, así como información que puede ayudar a afinar el sistema de control de la calidad y sus algoritmos.
- En relación con el punto anterior, la eficacia del sistema de control de la calidad debe evaluarse periódicamente para investigar qué técnicas de prueba funcionan mejor con determinados tipos de datos y cuáles pueden ayudar a afinar el sistema.

---

### 3. **ELEMENTOS DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CICLO DE VIDA DE LOS DATOS**

#### 3.1 **Información general**

El aseguramiento de la calidad a lo largo del ciclo de vida de los datos puede desglosarse en los cinco pasos principales que se describen a continuación<sup>1</sup>.

##### **Paso 1: Observación**

Este paso incluye los aspectos de la calidad de los datos que permiten verificar que el proceso de observación es adecuado, incluida la verificación de que la estación de observación, ya sea dotada de personal o automática, se ha configurado y funciona correctamente. Estos aspectos deben reflejarse en los metadatos de observación, por ejemplo, las características del emplazamiento, los metadatos del instrumental y los metadatos que confirman que se han cumplido las especificaciones de instalación en el emplazamiento. Los metadatos de observación también deben reflejar el proceso de captura de datos, ya sea de forma automática o manual, y los procesos de mantenimiento y supervisión técnica periódicos. También pueden realizarse controles del programa informático para averiguar si una lectura presentada es razonable o no, o si un instrumento ha funcionado mal. En el caso de los registros manuales en papel, el proceso de aseguramiento de la calidad debe garantizar la presentación puntual de los formularios en papel al Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SMHN).

##### **Paso 2: Entrega y captación de datos**

Este paso comprende la supervisión de la calidad de los datos asociada al flujo de datos entre el lugar de observación y el Sistema de Gestión de Datos Climáticos (CDMS) (también puede haber bases de datos en fases previas que realicen sus propios controles de la calidad a los datos). Los controles de la calidad de los datos deben realizarse en el punto de captación electrónica en el CDMS (para detectar "valores imposibles"). Si los datos se introducen manualmente, deben realizarse controles adicionales para verificar que los datos se hayan introducido correctamente. En este paso también se deben detectar los datos esperados que no se han recibido.

##### **Paso 3: Gestión de la base de datos climática (dentro del CDMS)**

Este paso abarca, por lo general, el amplio ámbito de la gestión (central) de los datos climáticos<sup>2</sup> tras su captación, momento en el que tiene lugar el control de la calidad en modo diferido mediante pruebas de control de la calidad manuales, semiautomáticas o automáticas. Este paso es el que se aborda principalmente en el resto del presente documento.

##### **Paso 4: Archivo final**

Este paso incluye los requisitos para el archivo final en el CDMS, así como los requisitos relativos al archivo de los registros en papel en un repositorio adecuado.

##### **Paso 5: Recuperación en caso de desastre**

Este paso comprende la protección contra la pérdida de datos mediante procesos que consisten en realizar, por ejemplo, copias de seguridad electrónicas y escaneos de registros en papel. Cabe señalar que también deben preverse procesos de recuperación para los pasos intermedios.

<sup>1</sup> En el presente documento, el "ciclo de vida de los datos" se extiende solo hasta el momento en que se archivan los datos, mientras que, normalmente, el ciclo de vida de los datos se extiende hasta el momento en que estos se eliminan.

<sup>2</sup> En la publicación *Climate Data Management System Specifications* (WMO-No. 1131) (Especificaciones del Sistema de Gestión de Datos Climáticos) se pueden encontrar muchos más detalles sobre los requisitos de gestión de datos.

### 3.2 **Paso 1: Observación**

En esta sección se abordan los aspectos de la calidad de los datos asociados a la observación de los elementos meteorológicos, así como a la garantía de que las estaciones de observación, ya sean dotadas de personal o automáticas, se han instalado y funcionan correctamente.

#### 3.2.1 **Normas relativas a la observación**

La búsqueda de un emplazamiento y la decisión de instalar o no una estación de observación en un lugar concreto influyen en la calidad de los datos que se pueden obtener en relación con las necesidades de observación. Para fines climáticos, el emplazamiento debe satisfacer las necesidades de los usuarios de los datos<sup>3</sup> durante un período de tiempo lo más largo posible. Por consiguiente, las condiciones de observación deberán permanecer prácticamente iguales durante un largo período de tiempo. El emplazamiento también debe ser representativo de las condiciones meteorológicas de una zona más amplia.

Las normas y orientaciones en relación con las observaciones meteorológicas pueden encontrarse en muchas publicaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), entre otras, las que se indican a continuación:

- [Manual del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM](#) (OMM-Nº 1160);
- [Guía del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM](#) (OMM-Nº 1165);
- [Guía de instrumentos y métodos de observación](#) (OMM-Nº 8);
- [Guía de prácticas climatológicas](#) (OMM-Nº 100);
- [Norma sobre metadatos del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM](#) (OMM-Nº 1192);
- [Desafíos en la transición de las redes de observaciones meteorológicas convencionales a las automáticas en registros climáticos a largo plazo](#) (OMM-Nº 1202).

A continuación, se detallan los elementos fundamentales de las normas y prácticas de observación desde la perspectiva del control y el aseguramiento de la calidad en relación con las aplicaciones y los servicios climáticos.

- Procesos previos al despliegue de los sensores. Los sensores deben cumplir las normas específicas relativas a las cuestiones siguientes:
  - 1) especificaciones de las pruebas del fabricante;
  - 2) revisión de la capacidad del sensor para cumplir las normas relativas a la climatología esperada, realizada por el SMHN o por una entidad externa (se recomienda que las pruebas del sensor reproduzcan el rango de campo esperado del parámetro);
  - 3) normas de la OMM para los sensores;
  - 4) calibración.

<sup>3</sup> Estos serán muchos y variados, y los datos para el monitoreo del cambio climático estarán sujetos a requisitos de calidad más estrictos que los datos para otros fines. Sin embargo, en todos los casos, el objetivo es que el registro climático sea de la mayor calidad posible.

- Procesos previos al despliegue de una estación meteorológica automática (EMA). Las EMA deben cumplir las normas específicas relativas a las cuestiones siguientes:
  - 1) documentación y especificaciones de cifrado de los algoritmos de la EMA (cuando estén disponibles<sup>4</sup>), que el SMHN deberá conservar como parte de los metadatos de las observaciones;
  - 2) bancos de pruebas y ensayos sobre el terreno que garanticen que la plataforma de la EMA es adecuada para su finalidad (es decir, robusta, fiable y accesible) y que se cumplen las normas del SMHN y la OMM;
  - 3) capacidad del registrador de datos (que depende de la capacidad del SMHN para recuperar los datos);
  - 4) conveniencia de las comunicaciones, el suministro de energía, etc., para minimizar el tiempo de inactividad.

Todos los emplazamientos existentes deben clasificarse según la [Guía de instrumentos y métodos de observación](#) (OMM-Nº 8) para cada parámetro observado en el emplazamiento; la clasificación debe constar en los metadatos de las observaciones de la estación.

### 3.2.2 **Metadatos de las observaciones**

Los metadatos de las observaciones deben documentarse y almacenarse en el sistema de metadatos del SMHN de acuerdo con las prácticas normalizadas de la OMM y del SMHN ([Guía del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM](#) (OMM-Nº 1165) y [Norma sobre metadatos del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM](#) (OMM-Nº 1192)).

Para fines de control de la calidad de los datos climáticos, se recomienda que los metadatos de las observaciones contengan la mayor cantidad posible de la información siguiente:

- Información sobre el emplazamiento y la exposición, con inclusión de:
  - la latitud, longitud y elevación;
  - un mapa del horizonte, si es posible (con una descripción);
  - fotografías del emplazamiento tomadas desde el norte, el sur, el este y el oeste;
  - detalles del entorno local, junto con un mapa del emplazamiento (diagrama polar), que incluya la elevación de los instrumentos y la distancia de los instrumentos a los árboles, edificios, etc.
- Información del instrumento o sensor, con inclusión de:
  - el número de serie;
  - detalles sobre los controles de calibración;
  - el historial de despliegue y de servicio;
  - el método de notificación y el tiempo de observación.

La falta de metadatos de observación adecuados, correctos y actualizados puede comprometer todo el proceso de gestión de la calidad. Cabe señalar que, para la evaluación de la

---

<sup>4</sup> Lamentablemente, muchos proveedores de EMA no permiten el acceso a los algoritmos de los sensores.

homogeneidad, estos metadatos deben actualizarse periódicamente para reflejar cualquier cambio, como el crecimiento de los árboles o los cambios en el uso de la tierra, que puedan afectar a las mediciones.

### 3.2.3 **Control de calidad en la estación**

La presente sección se aplica tanto a las observaciones realizadas manualmente como a las observaciones electrónicas generadas automáticamente desde estaciones sin dotación de personal.

Es una gran ventaja que la primera fase del control de la calidad se realice en la estación en tiempo real. Los datos brutos de todos los sensores están disponibles in situ y, en el caso de las estaciones dotadas de personal, los observadores pueden comprobar la coherencia con otros parámetros. De esta manera, se evita que los datos claramente erróneos se introduzcan en el archivo de datos y se puedan incorporar a los productos.

#### **Observaciones manuales**

Todos los observadores deben recibir instrucciones normalizadas para efectuar las observaciones meteorológicas, que deberán seguir. Estas instrucciones son parte de la documentación y el cumplimiento de los procesos. Se debe informar a los observadores de cualquier cambio en estas instrucciones. Además, se debe impartir periódicamente a los observadores un curso de actualización. En la medida de lo posible, para minimizar la pérdida de datos debería haber sensores de repuesto en caso de que los que están en uso se dañen.

Los registros que los observadores han realizado manualmente deben enviarse a una oficina central (normalmente el SMHN) inmediatamente después de finalizar el mes. La estación debe conservar un ejemplar de esos registros.

En el caso de las observaciones que se leen total o parcialmente de forma manual, deben realizarse las siguientes comprobaciones (una lista de comprobación puede ayudar a que se lleven a cabo de forma sistemática):

- comprobación de la coherencia con otras observaciones manuales;
- comprobación de rangos y restricciones con respecto a normas climatológicas razonables;
- comprobación de la coherencia con el registro de la estación (el registro histórico de esa estación, incluidos los extremos anteriores);
- cálculos de las observaciones (como el cálculo de la humedad relativa);
- en el caso de los emplazamientos dotados de personal, comprobaciones independientes, que puede realizar el funcionario encargado u otro observador.

En el [anexo 1](#) y el [anexo 2](#) se presentan más detalles sobre estas comprobaciones.

#### **Observaciones generadas de forma automática**

En el caso de las observaciones generadas de forma totalmente automática (en EMA), deben realizarse las siguientes comprobaciones:

- comprobaciones de las restricciones impuestas por la introducción en la base de datos;
- comprobaciones de las restricciones para determinar si las observaciones son climatológicamente razonables;

- comprobaciones de la coherencia con otros parámetros de la estación (coherencia interna).

En el [anexo 1](#) y el [anexo 2](#) se presentan ejemplos de estas comprobaciones.

En la medida de lo posible, los resultados de las comprobaciones automáticas de la calidad deben almacenarse en forma de banderín de calidad que se transmite a la oficina regional o central junto con el valor correspondiente de los datos.

En el caso de las observaciones electrónicas generadas de forma automática desde estaciones sin dotación de personal, se recomienda que la capacidad del registrador de datos sea suficiente como para almacenar los datos durante las interrupciones de las comunicaciones y, en el caso de los emplazamientos críticos, que se considere la posibilidad de utilizar un método efectivo de recuperación de datos (por ejemplo, el sondeo por satélite).

En caso de problemas técnicos con un sensor, el registrador de datos o la EMA, los sistemas deben generar automáticamente alarmas técnicas para que el SMHN las analice y actúe en consecuencia.

#### 3.2.4 **Mantenimiento**

Es necesario visitar periódicamente todas las estaciones para comprobar las condiciones del emplazamiento y, lo que es aún más importante, realizar trabajos de mantenimiento, como el cambio de sensores. Los resultados de esas visitas deben quedar documentados.

Cuando se realizan cambios en los sensores de una estación, hay que recalibrarlos, y los resultados de la calibración deben incluirse en los metadatos de las observaciones.

Si se cambian los sensores de una red de observación, habrá que realizar mediciones paralelas (sensor en uso y sensor nuevo) durante un período de al menos un año y, preferiblemente, durante dos años<sup>5</sup> o más (véase la [Guía de prácticas climatológicas](#) (OMM-Nº 100)) en todas las estaciones afectadas, o al menos en una selección de estaciones de referencia que representen la gama de condiciones climatológicas del conjunto de la red, antes de introducir el nuevo sensor en toda la red.

Los resultados de esas mediciones paralelas deben constar en los metadatos de las observaciones y, por tanto, ser accesibles a los usuarios de los datos para su posterior análisis. Es importante registrar la fecha exacta del cambio de sensor en cada emplazamiento.

#### 3.2.5 **Supervisión técnica**

La presente sección, que se aplica tanto a las estaciones semiautomáticas como a las totalmente automáticas, trata de los sistemas de supervisión técnica semiautomatizados que pueden detectar los fallos de funcionamiento de los sensores, los registradores de datos y los sistemas de comunicación y, hasta cierto punto, intervenir en ellos.

Los errores en los sensores y registradores de datos deben detectarse lo más rápidamente posible mediante la supervisión en tiempo real de parámetros técnicos. Esto reduce la probabilidad de que falten datos, o de que se sigan procesando datos defectuosos durante un período de tiempo largo, lo que perjudica las series temporales de datos climáticos y los productos climáticos derivados.

---

<sup>5</sup> La razón principal de documentar las mediciones paralelas durante un período de dos años, en lugar de un año, es proporcionar datos de apoyo adicionales en caso de que el primer año de la comparación sea inusual desde el punto de vista climático.

Se recomienda encarecidamente que, a la hora de crear mecanismos de detección en el marco de sistemas de supervisión, los operadores de redes de observación tengan en cuenta lo siguiente:

- Los sensores inteligentes pueden detectar si su fuente de alimentación, el mecanismo de calibración interno o cualquier sistema interno —como el de calefacción— funcionan correctamente. Si los sensores detectan algún fallo, las señales correspondientes se envían al registrador de datos y, de ahí, al programa informático de supervisión (centro de control) durante la recuperación de datos. Lo ideal sería que, si la fuente de alimentación del sensor, el mecanismo de calibración interno o un sistema interno no funcionara correctamente, esa información se hiciera visible añadiendo un banderín de calidad a los valores medidos durante el procesamiento de la señal en el registrador de datos para que el funcionamiento incorrecto se pueda localizar con facilidad.
- El registrador de datos o la unidad de procesamiento de datos de la estación, o ambos, pueden funcionar mal. Esto se puede detectar por el hecho de que los valores medidos ya no están cifrados o de que la recuperación de datos de la estación ya no es posible.
- La supervisión técnica de la comunicación de datos proporciona información rápida sobre cualquier error del proceso que pueda existir. Con esta información se pueden investigar las lagunas en los datos introducidos (es decir, los datos previstos frente a los que se recibieron), lo que ayuda a explicar por qué pueden faltar determinados datos y, por tanto, sirve de base para iniciar procedimientos de rectificación. Cabe señalar que estos fallos pueden producirse en varios puntos de la infraestructura de datos del SMHN.

Los detalles de todos los errores técnicos deben registrarse en una base de datos, en la que se hará constar, al menos, la información siguiente:

- tipo de error:
  - sensor;
  - registrador de datos/EMA;
  - línea de comunicación;
- hora de inicio del error;
- hora de finalización del error;
- medidas adoptadas para subsanar el error (nota: se debe procurar describir claramente las medidas);
- si el error ha provocado o no lagunas en los datos;
- quién se ocupó del error.

### 3.3 **Paso 2: Entrega y captación de datos**

En la presente sección se examinan los problemas de calidad de los datos relacionados con el sistema de entrega de los datos desde el emplazamiento de observación hasta la base de datos (central), incluida la captación de los datos.



### 3.3.1 **Introducción manual de datos mediante teclado**

Muchos SMHN reciben ejemplares en papel de los registros de las estaciones que luego son digitalizados por su personal. Como parte del proceso de aseguramiento y control de la calidad se recomienda llevar a cabo las medidas siguientes:

- Escanear el registro y almacenar la imagen<sup>6</sup> como parte de la estrategia de rescate de datos del SMHN.
- Digitalizar los datos más de una vez para mitigar los errores de digitalización (se recomienda la introducción por duplicado).
- Añadir al registro digitalizado un identificador de operador en forma de metadatos. Esto permite auditar el rendimiento de los operadores y contribuye a la formación.
- Indicar en el registro digitalizado la fecha y la hora de la digitalización para facilitar la auditoría de los cambios.
- Efectuar el control de la calidad en el momento de la digitalización de los datos para reducir la incidencia de errores. Para la digitalización en un CDMS, los algoritmos para el control de la calidad efectuado en el momento de la captación de datos deben incluir:
  - comprobaciones del rango y de la coherencia;
  - comprobaciones para verificar que los datos de una estación a una hora y fecha concretas no figuran todavía en la base de datos;
  - comprobaciones de los metadatos para verificar que el nombre y la ubicación de la estación se corresponden con el número de estación asignado;
  - comprobaciones aritméticas del cálculo de los parámetros (por ejemplo, el cálculo del punto de rocío utilizando los valores de temperatura de termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo);
  - en el caso de las variables acumulativas, como la lluvia y la evaporación, una suma aritmética de los valores diarios para verificar la coherencia con el total mensual registrado.

### 3.3.2 **Captación de datos por medios electrónicos**

Para efectuar el control de la calidad en el momento de la captación, se recomienda que las pruebas se limiten a detectar los datos que, estadísticamente, pueden señalarse como claramente erróneos a través de las comprobaciones de rango de atributos. Si se realiza un análisis de control de la calidad adicional en el momento de la captación, se recomienda que los datos dudosos se marquen para su evaluación a través del sistema de control de la calidad en modo diferido del SMHN (véase la [sección 3.4.1](#)).

Se recomienda lo siguiente:

- La captación debe descifrar de forma fiable los datos y metadatos de todos los parámetros.
- El programa informático para el control de la calidad en el momento de la captación debe ser independiente del utilizado para la captación de los datos (para reducir los problemas asociados a las actualizaciones).

---

<sup>6</sup> Cabe señalar que, en general, el registro en papel también debe conservarse, a menos que la autoridad nacional de archivos del país aconseje lo contrario de forma jurídicamente vinculante.

- Tras un proceso de recuperación de datos en caso de desastre, debe ser posible volver a captar los datos recuperados cuando sea necesario.
- El programa informático debe poder ampliarse fácilmente para incorporar nuevos tipos, formatos y flujos de datos.
- Los registros de errores deben recopilarse y utilizarse para poner de manifiesto posibles problemas con el sistema de captación de datos.

### 3.3.3 **Detección de errores sistémicos**

Incluso en un sistema totalmente automático, deben existir las herramientas adecuadas para detectar y analizar los problemas sistémicos de la red. Además, ante cualquier cambio en el sistema de control de la calidad deberán realizarse pruebas de aceptación del usuario, así como pruebas en el entorno operativo, y las pruebas y los resultados deben quedar completamente documentados. También deberán realizarse pruebas de extremo a extremo (del sensor al archivo).

En la medida de lo posible, se debería contar con un proceso para documentar los problemas de datos detectados y analizar los patrones de error. La detección reiterada de un determinado tipo de error puede indicar que existe un problema sistémico, ya sea en el punto de observación, en el sistema de observación, en el programa informático de captación o en relación con los operadores que realizan la entrada de datos mediante teclado.

Una frecuencia más alta de lo habitual de datos marcados como "sospechosos" podría indicar problemas sistémicos de la red para un determinado parámetro.

## 3.4 **Paso 3: Control de la calidad en la base de datos climáticos**

En la presente sección se aborda el control de la calidad en el CDMS, incluidas las normas, los procedimientos y las pruebas.

Los procesos de cribado definidos hasta la fecha sobre los datos de observación que llegan al CDMS y se integran en él suelen estar diseñados para detectar los errores más evidentes. No obstante, antes de que los datos se archiven como parte del registro climático oficial, debe realizarse una evaluación final y exhaustiva de control de la calidad. Los procesos de control de la calidad difieren según la fuente de los datos, el parámetro medido y la resolución temporal. Dependiendo de la estructura del SMHN, el control de la calidad puede ser realizado por una unidad central o a nivel regional, siguiendo un proceso coherente y bien definido para todo el SMHN. Lo importante es que el último control de la calidad se lleve a cabo mediante un procedimiento uniforme, con herramientas y enfoques coherentes, antes del archivo final.

### 3.4.1 **Introducción**

Se recomienda realizar las pruebas de control de la calidad aquí descritas para contar con un análisis completo, aunque no exhaustivo, de los datos recibidos en la base de datos climáticos. Deben llevarse a cabo después de la captación<sup>7</sup> y, por ello, estas pruebas normalmente se conocen como control de la calidad en modo diferido. Hay cinco tipos principales de pruebas:

- **pruebas de restricción** (pruebas de rango basado en los sensores, que comprueban si las observaciones quedan fuera de los límites teóricos de un sensor, y pruebas de atributo, que determinan si el valor es científicamente viable);

<sup>7</sup> Cabe señalar que algunas de las pruebas descritas pueden realizarse también en otras etapas del ciclo de vida de los datos.

- **pruebas de coherencia** (que comprueban si los datos de dos o más fuentes son coherentes, por ejemplo: ¿superan las horas de sol el máximo posible para la época del año?, ¿es la temperatura del punto de rocío mayor que la temperatura del termómetro de bulbo húmedo?, ¿existe una incoherencia entre los valores cada tres horas y la temperatura máxima o mínima diaria?, ¿es improbable la precipitación teniendo en cuenta la humedad, las nubes, etc.?);
- **pruebas heurísticas** (que se basan en la experiencia y el conocimiento de los procesos de observación y el instrumental para comprobar si hay valores incoherentes o improbables, por ejemplo, pruebas para comprobar si la mecha del termómetro de bulbo húmedo se ha secado);
- **pruebas de suministro de datos** (por ejemplo, pruebas para comparar la hora local con la hora en que se reciben los datos, pruebas para comprobar si hay intervalos excesivamente grandes entre las observaciones, etc.);
- **pruebas estadísticas** (que analizan los datos recibidos con respecto a los datos históricos o a los patrones de variabilidad espacial para detectar valores incoherentes o improbables, por ejemplo, pruebas de línea plana o de picos; esta categoría también incluye pruebas de coherencia espacial por regresión lineal o análisis cartográfico y pruebas de coherencia temporal).

En el [anexo 1](#) se presentan de forma resumida estas pruebas y se indica si deben considerarse obligatorias, recomendadas u opcionales. El [anexo 2](#) contiene más detalles sobre estas pruebas.

Para determinar si los valores que se analizan han superado o no las pruebas anteriores, se utilizan parámetros de supervisión de la calidad específicos. Un parámetro de supervisión de la calidad es un valor de referencia numérico que actúa como una restricción, normalmente como un límite superior o inferior. Estos parámetros pueden definirse para un elemento meteorológico, estación, mes o tipo de prueba determinado y pueden generarse estadísticamente (por ejemplo, más de  $x$  desviaciones estándar de la media). Generalmente se considera que un valor no ha superado una prueba en particular si queda fuera del rango del parámetro de supervisión de la calidad de esa prueba, por lo que se lo puede considerar sospechoso, al menos hasta que las investigaciones de seguimiento puedan verificar el valor, o confirmar que es sospechoso o erróneo.

La sensibilidad de una prueba normalmente está determinada por su carácter automático o semiautomático. Las pruebas de control de la calidad automáticas pueden dar lugar a datos de menor fiabilidad y pueden sobrestimar el número de errores o subestimar los extremos<sup>8</sup>. No obstante, son adecuadas para los datos de alta frecuencia, debido a los limitados cambios de valor en los datos durante períodos de tiempo cortos y a los altos volúmenes de datos que las pruebas deben procesar.

### 3.4.2 **Tratamiento de las diferencias entre emplazamientos**

Al realizar las pruebas de control de la calidad, hay que tener en cuenta las diferencias entre emplazamientos. Esto es especialmente importante para los SMHN que operan en una amplia variedad de zonas climáticas y elevaciones.

Las estaciones costeras, por ejemplo, arrojan rangos muy diferentes de algunas variables en comparación con las estaciones continentales, y esto puede repercutir en el número esperado de falsos errores si se utilizan los mismos parámetros de prueba. En el caso de los SMHN que cubren diferentes zonas climáticas, existen dos enfoques principales para tratar las diferencias entre emplazamientos y los diferentes índices de error falso. Una opción es calcular los parámetros de supervisión de la calidad y las constantes de normalización por separado para cada zona. Una

<sup>8</sup> Hay varias formas de mejorar esta situación, por ejemplo, procurando que la muestra de entrenamiento sea de gran tamaño, realizando pruebas de variables múltiples (véase más adelante) o utilizándolas en situaciones de escenarios específicos. La aplicación de técnicas de aprendizaje automático puede ayudar en ese sentido.

alternativa sería utilizar un único sistema en un procedimiento semiautomático, con operadores formados para detectar los falsos errores relacionados con las variaciones estacionales y la variabilidad conocida entre emplazamientos.

Las diferencias en la elevación del emplazamiento también pueden repercutir en el número esperado de datos sospechosos si se utilizan los mismos parámetros de prueba. Los operadores de control de la calidad deben comprobar si las estaciones vecinas se encuentran a elevaciones o en entornos significativamente diferentes (por ejemplo, estaciones interiores cuando la estación que se analiza es costera); en tales casos, el uso de pruebas basadas en la estación vecina más cercana, por ejemplo, puede no ser apropiado. No obstante, el problema de las diferencias de elevación de los emplazamientos se puede resolver comparando las anomalías de los datos con las normales climáticas de los emplazamientos.

La duración del registro climático puede influir en los parámetros de supervisión de la calidad y, por tanto, en la fiabilidad de las pruebas aplicadas. Por ejemplo, los parámetros de supervisión de la calidad generados por un centro que tiene 30 años de registro serán significativamente más representativos que los generados por un centro que solo tiene 3 años de registro. Al utilizar estadísticas espaciales, si las estaciones vecinas son relativamente nuevas y tienen registros cortos, el rendimiento de la prueba se verá afectado. Los metadatos de las observaciones ayudarán a los operadores a determinar la duración del registro y la eficacia prevista de la prueba. Como ejemplo, la prueba de rango basado en el clima descrita en el [anexo 1](#) y en el [anexo 2](#) compara los datos con los extremos del registro climático local y, por lo tanto, cabría esperar que un emplazamiento con un período de registro corto sin un amplio rango de extremos genere sospechas de falsos positivos con mayor frecuencia.

La densidad de la red de observación influye en las pruebas de control de la calidad que utilizan estadísticas espaciales, por ejemplo, las pruebas de variabilidad espacial y las pruebas espaciales basadas en el análisis cartográfico (véase el [anexo 1](#) y el [anexo 2](#)). Es posible que deban aplicarse límites a los algoritmos espaciales para restringir la distancia de una estación vecina a la estación en cuestión a una distancia "razonable", que vendría determinada por una serie de factores, como la zona climática, la topografía, la duración del registro y el parámetro que se quiere comprobar. En el caso de emplazamientos muy remotos o de redes muy dispersas, puede ser necesario señalar el primer día del mes como sospechoso para garantizar la comprobación manual de los errores. Pueden ser necesarios otros métodos o parámetros para validar cualquier observación sospechosa. Por ejemplo, en el caso de las observaciones de lluvias, los métodos alternativos pueden incluir el uso de imágenes de satélite, radares, alturas de ríos o flujo fluvial. También puede ser posible contactar directamente con el observador para confirmar la cantidad registrada, preferiblemente en tiempo casi real.

Las pruebas de múltiples variables pueden resultar de ayuda para el operador del control de la calidad. Por ejemplo, si el total de lluvia diaria de un día determinado se registra como alto, ese total puede compararse con las observaciones pluviométricas horarias, los informes de tiempo presente y pasado, los tipos de nubes asociados a las lluvias fuertes, la humedad, los datos de otros instrumentos de medición de la lluvia (por ejemplo, pluviómetros o gráficos de intensidad de lluvia), las imágenes de radar, las imágenes de satélite, las predicciones numéricas del tiempo, los análisis de impacto, los informes de los medios de comunicación, etc. Se presume, por supuesto, que los parámetros e imágenes alternativas son de fácil acceso. Hay que tener en cuenta que estos enfoques de múltiples variables también pueden contribuir a automatizar el proceso de control de la calidad.

### 3.4.3 ***Tratamiento de los datos de alta frecuencia***

En la actualidad, muchos SMHN tienen en funcionamiento EMA que proporcionan datos con una elevada resolución temporal (1 minuto o 10 minutos) que se transmiten a intervalos cortos desde la estación de observación a la sede central. Además de los controles de la calidad automáticos que tengan lugar directamente en la estación dentro de la unidad central de procesamiento de la EMA, se puede realizar un control de la calidad adicional de los datos en tiempo casi real en

el CDMS. Este control de la calidad adicional permite evitar errores importantes en los valores diarios o mensuales derivados dentro del registro climático porque los datos de alta resolución de los que se derivan los valores diarios o mensuales ya han sido marcados o corregidos.

Para fines de trazabilidad, es necesario almacenar los datos de alta frecuencia originales, lo que requiere complejos sistemas de almacenamiento y modelos de datos (o, al menos, un registro de auditoría de los cambios realizados). El control de la calidad de los datos de alta frecuencia requiere mucho tiempo. Por ello, algunos SMHN optan por realizar un control de la calidad casi en tiempo real sobre la base de los valores horarios derivados: los datos de alta frecuencia solo se examinan más detenidamente si los valores horarios parecen dudosos. No obstante, convendría incorporar también pruebas de picos o de línea plana, ya que los picos, por ejemplo, pueden no quedar adecuadamente recogidos en un valor horario.

Cuando sea posible, se recomienda utilizar un proceso de control de la calidad automático para todos los parámetros de datos de alta frecuencia y que las pruebas de control de la calidad incluyan:

- pruebas de coherencia;
- pruebas de picos;
- pruebas de cambio rápido;
- pruebas de línea plana;
- pruebas de atributo.

Los riesgos asociados a las pruebas totalmente automáticas, como se indica en la [sección 2.5](#), pueden reducirse con el análisis de variables múltiples.

### **Control de calidad posterior al evento en el contexto de los datos de alta frecuencia**

Puede haber casos en los que un cambio significativo e inesperado en un parámetro para el que se disponen de datos con una elevada frecuencia, como un pico registrado en los datos, justifique una investigación adicional para evaluar el contexto más amplio del cambio repentino. El evento puede deberse, por ejemplo, a un fenómeno meteorológico violento real o a un fenómeno localizado, como un descenso violento del aire en una zona restringida, a un fenómeno no meteorológico, como un incendio forestal cercano, o a un pico generado por una sobretensión interna.

El contexto del evento se evalúa mediante un análisis de variables múltiples para confirmar si el evento es representativo de las condiciones meteorológicas del momento o se debe a alguna otra causa.

#### **3.4.4 Control de la calidad de valor añadido**

El control de la calidad de valor añadido puede adoptar diversas formas, incluida la estimación de valores de sustitución en caso de valores ausentes o erróneos<sup>9</sup>. No obstante, esos métodos están fuera del alcance del presente documento.

La **homogeneización** también puede considerarse una forma de valor añadido. Consiste en el ajuste de los registros climáticos (cuando sea necesario) para eliminar los efectos de factores no climáticos (por ejemplo, la reubicación de las estaciones), de modo que los datos resultantes

---

<sup>9</sup> Este tipo de sustitución es especialmente preferible a la simple declaración de "no disponible" en el caso de las lluvias, en el que un valor faltante puede invalidar el total de todo un mes o año.

reflejen variaciones no sesgadas debidas a procesos climáticos reales. Es esencial que los procesos de control y aseguramiento de la calidad proporcionen suficientes metadatos fiables para facilitar la homogeneización de los datos.

En las *Directrices sobre homogeneización* (OMM-Nº 1245) se ofrece una guía para tratar los problemas de homogeneidad. Los cuatro pasos clave que se utilizan habitualmente en el proceso de homogeneización son los siguientes:

- Análisis de los metadatos de las observaciones: Con este paso se buscan cambios en las mediciones y se examina qué procedimientos de control de la calidad se han realizado.
- Creación de una serie temporal de referencia: En general, una serie temporal de referencia se crea utilizando una media ponderada de las estaciones vecinas (después de someterlas a procesos de control de la calidad), pero otras técnicas, como el análisis de componentes principales, también pueden resultar útiles.
- Detección de puntos de ruptura: Este paso implica una búsqueda de inhomogeneidades mediante la observación de las divergencias entre una serie temporal de referencia y la serie temporal candidata.
- Ajuste de los datos: En este paso se decide qué puntos de ruptura se aceptan como inhomogeneidades mediante comparaciones con los metadatos disponibles y utilizando el juicio de expertos. Luego, las discontinuidades de los datos evaluadas se corrigen para que coincidan con las condiciones de su sección homogénea más reciente.

En aras de la trazabilidad y la fiabilidad de los datos, es importante documentar todos los ajustes realizados en los datos y conservar siempre los datos originales.

### 3.4.5 ***Banderines de fuente y calidad***

Aunque en el momento de la publicación del presente documento no se disponía de orientaciones genéricas de la OMM sobre marcado en el marco del control de la calidad, para fines de trazabilidad los SMHN deberían adoptar alguna forma de marcado con banderines de calidad para señalar la procedencia y la fuente de los datos. A continuación, se ofrecen algunas sugerencias.

Los **banderines de fuente** determinan el tipo de fuente de observación. Por ejemplo, distinguen entre las observaciones manuales y las automáticas o entre las observaciones derivadas del SMHN y las procedentes de fuentes externas (que pueden estar sujetas a diferentes prácticas de observación y requisitos de exhaustividad de los metadatos). Los banderines de fuente también pueden utilizarse para comparar la misma observación recibida a través de diferentes métodos, por ejemplo, las lluvias diarias enviadas electrónicamente, así como aquellas registradas a mano en papel. Estos valores no siempre coinciden y, en esos casos, se debe realizar una investigación más profunda. Los banderines de fuente también pueden utilizarse para comparar valores de instrumentos situados en el mismo emplazamiento, por ejemplo, los valores de lluvia diaria cuando se dispone tanto de observaciones de lluvia manuales como de lecturas de pluviómetros automáticas, y los valores de observaciones de terceros, como los medidores para alertas de crecidas.

Los **banderines de calidad** proporcionan una indicación cualitativa del nivel de fiabilidad de los datos. Estos banderines deben asignarse a partir de cualquier control de la calidad automático realizado en la estación (EMA, registrador de datos, etc.) durante el proceso de captación o introducción manual de datos (que puede implicar en sí mismo uno o varios pasos, como se ha descrito anteriormente) y durante el control de la calidad en modo diferido. Los banderines de calidad típicos deben indicar si un dato ha sido o no objeto de un proceso de control de la calidad y, en caso afirmativo, si se ha considerado válido, sospechoso, dudoso o erróneo y si ha sido estimado o modificado.

Una situación en la que podría estar justificado el uso de un banderín de calidad podría ser, por ejemplo, si el valor del termómetro de máxima leído manualmente en una estación no se ajustara a los valores de las estaciones vecinas y el operador del control de la calidad sospechara de un error de lectura. En ese caso, puede ser conveniente marcar el dato como una estimación bruta o, en circunstancias más extremas, como un valor sospechoso o incorrecto.

Los banderines de control de la calidad también pueden referirse específicamente al tipo de control de la calidad aplicado: control de la calidad de la captación, control de la calidad automático y marcado automático de datos, control de la calidad semiautomático con análisis de operadores de variables múltiples, etc.

Los valores marcados con un banderín, así como cualquier cambio en ellos, deben mantenerse en un registro de auditoría, y estos cambios deben estar disponibles para el análisis o el escrutinio manual.

El modelo de marcado adoptado no debe ser complejo. Se recomienda que, en lugar de una única y amplia lista de banderines que abarque todos los posibles escenarios de metadatos, se utilice una serie de subconjuntos de banderines para indicar diversos aspectos de los metadatos.

La cantidad de trabajo que suponga la planificación de un sistema de banderines de calidad dictará el grado de seguridad del sistema en el futuro. El sistema de marcado debe ser lo suficientemente flexible como para adaptarse a futuros cambios en la tecnología, las redes, etc. Un sistema de marcado que incorpore subconjuntos de banderines tiene una serie de ventajas, entre las que cabe destacar las siguientes:

- El subconjunto de banderines puede ampliarse cuando sea necesario. Por ejemplo, se puede añadir un banderín a una serie de banderines existente para indicar una nueva fuente de datos, y se puede añadir una serie de banderines para describir la calidad de la exposición de los instrumentos o el control de la calidad específico ya realizado por un proveedor de datos externo.
- Se pueden realizar controles de calidad retrospectivos a medida que mejora el sistema de control de la calidad.

En la *Guía de instrumentos y métodos de observación* (OMM-Nº 8) figuran ejemplos de tipos de banderines de calidad. Aunque esa publicación no contiene una lista exhaustiva, ofrece una guía básica. Entre los tipos de banderines de calidad figuran:

- la clave de tipo de dato;
- la clave de método de adquisición;
- la clave de fase de validación.

Los banderines de calidad permiten realizar un seguimiento de la auditoría y la procedencia de los datos, es decir, si se han realizado cambios en los datos, quién los ha realizado, cómo y por qué. También facilitan la supervisión del rendimiento y la rendición de cuentas de los operadores del control de la calidad. Por ejemplo, si se descubre que un operador concreto tiene alguna carencia formativa, es posible, mediante el uso de banderines de calidad, recuperar todas las correcciones que haya introducido ese operador que estén relacionadas con ese problema de formación específico, recuperar los datos originales y volver a procesarlos. Todas las decisiones que se tomen en relación con el marcado de datos como sospechosos deben tener una base científica. Si el operador no puede tomar una decisión de forma razonable y segura, se recomienda conservar los datos tal cual.

El uso de banderines de calidad es un componente obligatorio del control de la calidad. Permite un nivel de aseguramiento de la calidad para los usuarios de los datos, así como un registro de las fuentes de los datos y los resultados del procesamiento del control de la calidad. Garantiza que los datos sospechosos o erróneos no se eliminen, sino que se marquen (como se ha mencionado



anteriormente, aunque los datos sospechosos o erróneos se conservan, no deben incorporarse al registro climático de cara al usuario), y permite a los usuarios de los datos elegir el nivel de calidad de los datos que se adecue a sus necesidades.

### Datos procedentes de fuentes ajenas al SMHN

Los datos de un SMHN pueden haber sido recogidos por redes externas y pertenecer a ellas, y cabe esperar que su calidad varíe debido a las diferentes prácticas de observación o a la cantidad de metadatos de observación disponibles. Por esta razón, se puede considerar que los datos pertenecen a una clase particular de red, ya sea operada por el SMHN o por partes externas. Dado que la calidad de los datos (y de los metadatos) puede variar en función de la fuente de datos, se recomienda utilizar un marcado adecuado (u otro medio de distinción) para indicar la fuente y documentar el procesamiento aplicado, en su caso (por ejemplo, si el proveedor de los datos los ha sometido a un control de la calidad). Pueden consultarse orientaciones más detalladas sobre la gestión de datos de origen externo en el [Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad](#) (OMM-Nº 1238).

#### 3.4.6 **Perspectivas futuras del control de la calidad**

Los procesos de control de la calidad descritos anteriormente se basan principalmente en algoritmos que utilizan datos de observación en superficie y en la verificación manual de esos datos por parte del operador mediante datos y productos de satélites y radares y otras informaciones y herramientas.

Los futuros procesos de control de la calidad tienen el potencial de integrar esos tipos de datos de teledetección, así como cualquier producto derivado, directamente en los algoritmos de verificación como parte de las medidas para aumentar la automatización. Sobre la base de los datos de teledetección, puede ser posible verificar completamente y de forma automática los siguientes parámetros, en particular para las zonas en las que las estaciones de observación sean muy dispersas y no se puedan realizar comparaciones espaciales con otras estaciones de superficie:

- radiación solar;
- nubosidad;
- capa de nieve;
- temperatura (media diaria);
- precipitación (total diario).

Los productos de PNT (por ejemplo, los campos de primera estimación) pueden proporcionar información valiosa para el control de la calidad en tiempo casi real de los datos medidos u observados a fin de detectar y corregir rápidamente los datos defectuosos. Las predicciones meteorológicas específicas del emplazamiento pueden utilizarse para determinar la diferencia histórica (anomalías) entre los valores previstos y los observados. Si la diferencia entre la predicción y la observación es mayor que un determinado umbral, la observación puede marcarse como sospechosa. La ventaja de este enfoque es que la magnitud de las diferencias suele ser pequeña y, por lo tanto, el valor del umbral por encima del cual una observación se considera sospechosa puede determinarse con bastante precisión. La desventaja de este enfoque es que, si la predicción es errónea, una observación correcta puede marcarse como sospechosa. Asimismo, las tecnologías de reanálisis pueden ayudar a detectar anomalías debidas a datos sospechosos.

Los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como el aprendizaje automático y los enfoques de sistemas expertos, también deben ser objeto de seguimiento, dado su potencial para ayudar a la automatización del aseguramiento y el control de la calidad.



### 3.5 **Paso 4: Archivo final**

En el caso de los archivos electrónicos, en el momento del archivo final, es importante asegurarse de lo siguiente:

- Los datos que se archivan van acompañados de un registro de auditoría completo de los cambios, o de versiones separadas de los datos después del control de la calidad y de cualquier operación realizada que haya añadido valor.
- El mensaje electrónico original se conserva y puede recuperarse fácilmente junto con el valor de la observación y los metadatos.
- La procedencia, que indica todos los cambios realizados en los datos, puede extraerse si es necesario.
- Los datos son aptos para su propósito, es decir, adecuados para las aplicaciones climáticas.
- Los datos son de calidad conocida, las pruebas de calidad aplicadas se han documentado adecuadamente y se han asignado banderines de calidad (para que el público confíe en el proceso de control de la calidad podría ser útil disponer de una "hoja informativa" que describa qué pruebas se han realizado).
- Se han aplicado procedimientos de gobernanza adecuados para que los datos no puedan modificarse sin la debida autorización. Nota: Los cambios posteriores al archivo pueden surgir, por ejemplo, si un usuario detecta un error claro en los datos, o si la metodología de control de la calidad cambia posteriormente y los datos se someten a un control de la calidad retroactivo utilizando métodos nuevos.

Se deberá realizar una migración tecnológica periódica para que los archivos definitivos sigan siendo accesibles a perpetuidad.

Para el almacenamiento de ejemplares en papel, el sistema de gestión de los registros debe tener un entorno controlado:

- que utilice materiales de almacenamiento libres de ácido;
- que esté protegido contra el fuego y el agua;
- que esté libre de plagas;
- que contenga un inventario completo de los registros que se conservan;
- que esté sujeto a procedimientos de manipulación adecuados;
- que preserve todos los registros;
- que prevea medidas de seguridad adecuadas.

Para un análisis más detallado sobre la gestión de los registros en papel, sírvase consultar las [Directrices sobre mejores prácticas para el rescate de datos climáticos](#) (OMM-Nº 1182).

### 3.6 **Paso 5: Recuperación en caso de desastre**

El paso de recuperación en caso de desastre consiste en asegurar que los datos puedan recuperarse en caso de un desastre que provoque la pérdida o alteración de los datos, en su totalidad o en parte. En el caso de las bases de datos o los datos electrónicos, esto incluye garantizar que haya varias copias de los datos y copias de seguridad externas, además de planes para la restauración eficaz y completa del archivo a partir de esas fuentes de copia de seguridad. En el [Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad](#) (OMM-Nº 1238)

figuran más detalles sobre los requisitos para garantizar la seguridad y la recuperabilidad del registro climático de un SMHN. En el caso de los registros en papel, estos requisitos incluyen el almacenamiento y la seguridad adecuados (véase más arriba). Se recomienda encarecidamente escanear y digitalizar todos los documentos en papel.

---

#### 4. **FUNCIÓN DEL ENCARGADO DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

Habida cuenta de la creciente importancia de contar con datos climáticos fiables, y de que cada Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SMHN) tiene sus propios procedimientos y estructuras, la gestión del proceso de aseguramiento de la calidad es muy importante. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente que cada SMHN cuente con un responsable del aseguramiento de la calidad de los datos que se encargue de que se sigan adecuadamente todos los aspectos del proceso de aseguramiento y control de la calidad de los datos climáticos y de que se detecte y aborde adecuadamente cualquier problema que surja. El encargado del aseguramiento de la calidad de los datos debe conocer los detalles del proceso o procesos que tienen lugar a lo largo de todo el ciclo de vida de los datos y tener una visión general del estado del proceso de aseguramiento de la calidad en todo el SMHN, incluso si varias tareas de aseguramiento y control de la calidad dentro del SMHN están distribuidas en diferentes áreas de la institución. Los responsables del aseguramiento de la calidad deben intercambiar periódicamente sus experiencias a nivel internacional y procurar mantenerse al corriente de los nuevos avances científicos relacionados con el control y el aseguramiento de la calidad. En la medida de lo posible, los procesos realizados en el marco del aseguramiento y el control de la calidad deben ajustarse a una norma reconocida de la Organización Internacional de Normalización (ISO), ya que esto generará una mayor confianza en los procesos y en el cumplimiento de las normas de calidad reconocidas.

En la lista siguiente se describen las responsabilidades recomendadas del encargado del aseguramiento de la calidad de los datos para garantizar la calidad en el registro, la entrega y el archivo de los datos. Las tareas pueden realizarse en diferentes secciones del SMHN o por partes externas, pero el responsable del aseguramiento de la calidad de los datos debe velar por que estas se lleven a cabo de forma que no se comprometa la integridad del registro climático. Los metadatos de las observaciones y la documentación de estos procedimientos deben estar a disposición del encargado del control de la calidad para garantizar que el proceso de control de la calidad sea adecuado.

##### **Responsabilidades:**

- El encargado del aseguramiento de la calidad de los datos debe velar por que la tecnología de los instrumentos sea adecuada para su finalidad, para lo cual deberá llevar a cabo lo siguiente:
  - Verificar que los instrumentos se prueben adecuadamente, con pruebas de rendimiento y aceptación documentadas, antes de las pruebas sobre el terreno.
  - Realizar pruebas sobre el terreno paralelas. En el caso de los instrumentos que sustituyen una tecnología más antigua, deberán realizarse pruebas sobre el terreno paralelas durante un año como mínimo (y, siempre que sea posible, durante dos años o más) para cuantificar adecuadamente las diferencias de rendimiento entre los instrumentos. En la medida de lo posible, estas deberán llevarse a cabo antes de que los nuevos instrumentos se desplieguen operativamente para asegurarse de que funcionen de forma fiable y coherente dentro de las tolerancias establecidas.
  - Velar por que los resultados de las pruebas sobre el terreno paralelas se conserven y estén a disposición de los usuarios de los datos y los clientes que los soliciten.
  - Verificar que el instrumento esté instalado de forma operativa de acuerdo con las especificaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) o del país, y que la calibración del instrumento se compruebe con respecto a la norma correspondiente (cuando sea aplicable) antes de su puesta en servicio.
- En el caso de los instrumentos que ya están operativos, el encargado del aseguramiento de la calidad de los datos deberá llevar a cabo lo siguiente:
  - Verificar que los resultados de los instrumentos estén dentro de los límites de tolerancia mediante un programa de inspección regular.

- Asegurarse de que las observaciones se realicen en los intervalos de tiempo requeridos.
- Documentar y supervisar periódicamente la exposición de los instrumentos en el emplazamiento y anotar cualquier cambio significativo que afecte a la calidad de los datos (esta información se transferirá al sistema de metadatos de las observaciones del SMHN).
- Comprobar que se haya previsto la realización de un mantenimiento periódico y que este se lleve a cabo.
- En el caso de las observaciones registradas manualmente, el encargado del aseguramiento de la calidad de los datos deberá llevar a cabo lo siguiente:
  - Si las observaciones se registran manualmente en el libro de la estación (registro de observaciones), velar por que el personal de la estación compruebe la exactitud de los libros<sup>1</sup>. En los emplazamientos con más de un observador, esta responsabilidad suele recaer en el funcionario encargado de la estación.
  - Registrar los metadatos relativos a cualquier instrumento o problema de calidad de los datos en el libro de la estación o en otro registro de observaciones.
  - En la medida de lo posible, garantizar que los observadores y las redes de observación empleen prácticas y procedimientos normalizados (es decir, prácticas y métodos de observación coherentes), y que el asesoramiento sobre cualquier cambio necesario en los procedimientos de observación se comunique y documente ampliamente.
  - Comprobar que se impartan actividades de formación de actualización y que los nuevos observadores hayan recibido la formación pertinente cuando sean nombrados.
- Con respecto a la captación y el archivo de datos, el encargado del aseguramiento de la calidad de los datos deberá llevar a cabo lo siguiente:
  - Verificar que existan metadatos adecuados y un registro de auditoría para los datos.
  - Velar por que los procesos proporcionen información al emplazamiento o al proveedor de la observación sobre los problemas sistémicos de calidad de la observación.
  - Asegurar que se realicen comprobaciones del flujo de datos y resolver posibles problemas, como datos que se esperan, pero no se reciben, corrupción de los datos o problemas relativos a la indicación de la hora, entre otros (para ello, el responsable del aseguramiento de la calidad de los datos debe mantener una comunicación permanente con el personal de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) del SMHN).
  - Velar por que se apliquen procedimientos eficaces para la recuperación de datos.
  - Velar por que se apliquen procedimientos de copia de seguridad y de recuperación en caso de desastre y por que estos se documenten y comprendan plenamente (a ese respecto también se debe cooperar estrechamente con el personal de TIC del SMHN).
  - Procurar que los datos recibidos en papel se digitalicen y, en la medida de lo posible, se escaneen, y que esos registros impresos se archiven.

---

<sup>1</sup> Esto se aplica específicamente a las observaciones registradas en formularios en papel. En las estaciones en las que los datos observados manualmente se introducen en un sistema electrónico, también debería aplicarse algún tipo de control.

- Con respecto a la calidad de los datos, el encargado del aseguramiento de la calidad de los datos deberá llevar a cabo lo siguiente:
    - Cerciorarse de que los operadores de control de la calidad comprendan plenamente los procedimientos de control de la calidad del SMHN y puedan llevarlos a cabo (para lograr unos niveles de control de la calidad elevados y constantes, se sugiere que se realicen auditorías periódicas para verificar que los operadores de control de la calidad se atienen a procesos normalizados y coherentes).
    - Velar por la realización completa, continua y oportuna de todos los procedimientos y pruebas de control de la calidad.
    - Asegurarse de que la información sobre la calidad se registre adecuadamente como parte de los metadatos.
    - Cerciorarse de que todos los datos se marquen de conformidad con los procedimientos de marcado del SMHN.
    - Velar por que toda la documentación relativa a los procedimientos se mantenga actualizada y sea accesible.
-

## ANEXO 1. PRUEBAS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y DE CONTROL DE LA CALIDAD: VISIÓN GENERAL

En este anexo se ofrece una visión general no exhaustiva de alto nivel de los tipos de pruebas de aseguramiento de la calidad y de control de la calidad que pueden utilizarse para los procesos de aseguramiento y control de la calidad de los datos climáticos y se indica importancia sugerida. Las pruebas se describen más detalladamente en el [anexo 2](#).

### Cuadro 1. Algunas pruebas de aseguramiento y de control de la calidad y su importancia

Leyenda: O = Obligatoria, R = Recomendada, OP = Opcional.

**Pruebas de restricción:** Permiten comprobar que las observaciones son técnica y científicamente plausibles en función de los límites teóricos y climatológicos, las especificaciones del equipo informático de los sensores o los límites de la base de datos en la captación de datos.

Nombre de la prueba	Descripción breve	Notas	Importancia sugerida
Prueba de rango basado en el sensor	Detecta observaciones que están fuera de los límites teóricos o de las especificaciones del equipo informático del sensor.		O
Prueba de rango de la base de datos	Detecta valores que están fuera de los límites de los criterios de captación del sistema de almacenamiento.	Esta prueba se lleva a cabo mientras los datos se integran en el sistema de almacenamiento.	O
Prueba de atributo	Determina si el valor meteorológico es científicamente posible, por ejemplo, $T > 70$ °C.		O

**Pruebas de coherencia:** Pruebas que, mediante comparaciones con otros parámetros, permiten rechazar o marcar como sospechosas las combinaciones incoherentes, improbables o imposibles. Posteriormente, se puede evaluar la validez de los valores sospechosos mediante una investigación manual.

Nombre de la prueba	Descripción breve	Notas	Importancia sugerida
Prueba de valores subdiarios	Determina si hay coherencia entre los valores registrados en las observaciones subdiarias, por ejemplo, las observaciones cada tres horas, y los valores diarios.		O
Prueba de la temperatura mínima diaria frente a la temperatura mínima diaria del suelo	Compara la temperatura mínima diaria y la temperatura mínima diaria del suelo.		OP
Prueba de la diferencia entre la presión media al nivel del mar y la presión al nivel de la estación por hora	Determina si hay un cambio significativo en la diferencia entre la presión media al nivel del mar y la presión al nivel de la estación de dos registros consecutivos.	Esta prueba puede realizarse con observaciones cada hora, cada tres horas, etc.	OP

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de comparación de datos de múltiples fuentes de precipitación	Comprueba si los datos de una fuente son coherentes con los de otra fuente.	Las fuentes de datos pueden ser instrumentos diferentes o el mismo instrumento desde diferentes vías de comunicación.	R
Prueba espacial de precipitación cero	Comprueba los casos en los que se registran precipitaciones significativas en un emplazamiento, pero no en emplazamientos vecinos, o viceversa. Cabe señalar que, en estos casos, conviene que los operadores de control de la calidad sean experimentados para garantizar que las estaciones vecinas con las que se comparen los datos sean suficientemente representativas del clima de la zona.	Normalmente, esto indica que la precipitación se ha registrado en un día equivocado o que el valor es un total acumulado.	O
Prueba de estaciones vecinas insuficientes	Comprueba si hay un número suficiente de estaciones a una distancia razonable de la estación candidata para realizar pruebas espaciales.	Esta prueba se realiza generalmente el primer día del mes y para los datos de precipitación.	R
Prueba del período de precipitación	Comprueba si los acumulados de lluvia se solapan o son divergentes (para comprobar si el valor del período del registro es incoherente con las fechas reales de precipitación nula notificadas)	Es una prueba diseñada para los registros de precipitaciones en forma de lluvia.	R
Prueba de seguimiento	Compara si dos o más elementos, o valores del mismo elemento en dos estaciones vecinas, suben y bajan a la par.	Se espera que los dos elementos suban y bajen a la par. Esta prueba es un medio muy eficaz para determinar si los valores deben rechazarse o marcarse como sospechosos.	R
Prueba de coherencia de la temperatura máxima (mínima) del aire	Comprueba la coherencia entre la temperatura máxima (mínima) diaria del aire y las observaciones con una frecuencia subdiaria.	Es una ampliación de las pruebas de valores subdiarios mencionadas anteriormente.	R
Prueba de la hora solar y astronómica	Determina la diferencia entre la duración de la insolación y la duración del día calculada.		O
Prueba de coherencia entre la temperatura del aire y la temperatura de bulbo húmedo	Compara la temperatura del aire con la temperatura de bulbo húmedo.		O
Prueba de coherencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío	Determina la diferencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío.	La prueba no se supera si la diferencia es menor que cero. Se realiza con observaciones manuales.	OP

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de comparación de las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío	La temperatura de bulbo húmedo se compara con la temperatura del punto de rocío al recalcular la temperatura del punto de rocío a partir de la temperatura del aire de bulbo húmedo.	Se realiza con observaciones manuales.	OP
Prueba de coherencia de las temperaturas del aire y del punto de rocío	Comprueba si la temperatura del punto de rocío es inferior o igual a la temperatura del aire.		R
Prueba de coherencia de la visibilidad	Comprueba la coherencia entre la visibilidad y la clave del tiempo presente con respecto a banderines de fenómenos (niebla, tormenta de arena, neblina, tormenta de polvo).	Visibilidad horizontal. Se realiza con observaciones manuales.	R
Prueba de coherencia de la nubosidad total	Comprueba la coherencia entre la nubosidad total y varios elementos.	Se realiza con observaciones manuales.	R
Prueba de coherencia de los banderines de fenómenos diarios	Comprueba la coherencia entre los banderines de fenómenos diarios y las claves de las tablas subsidiarias y otros elementos diarios diversos.		R
Prueba de coherencia del tiempo presente	Comprueba la coherencia entre las claves de tiempo presente de las tablas subsidiarias y otros elementos diarios diversos.		R
Prueba de la temperatura del suelo	Comprueba la coherencia entre las temperaturas del suelo a varias profundidades.		R
Prueba de coherencia del mensaje	Comprueba si todos los mensajes contienen el mismo valor para un parámetro determinado cuando se reciben varios mensajes sobre la misma observación.	Se aplica a todos los parámetros.	O
Prueba de los valores máximos y mínimos de los datos de un minuto	Compara la temperatura máxima o mínima notificada con el correspondiente valor de un minuto en el momento de la temperatura máxima o mínima para verificar que los valores coinciden.	Temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria.	R



**Pruebas heurísticas:** Pruebas que se basan en la experiencia y el conocimiento de los procesos de observación, las técnicas y el instrumental para detectar valores incoherentes, improbables o imposibles y marcarlos como sospechosos. Posteriormente, se puede evaluar la validez de los valores sospechosos mediante una investigación manual.

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de la humedad relativa con bulbo húmedo seco	Prueba para determinar si la mecha del bulbo húmedo se ha secado.		R

**Pruebas de suministro de datos:** Pruebas para que las observaciones que no coinciden con el calendario de observaciones previsto se rechacen o se marquen como sospechosas.

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de la hora de la observación recibida con antelación	Compara la hora local de la observación con la hora en que se recibió la observación.		R
Prueba de la diferencia de período	Determina si los períodos coinciden con los registros presentes.	Se aplica a las observaciones diarias.	O
Prueba de período largo	Determina si los períodos son excesivamente largos (muchos días) o inferiores a un día.	Se aplica a los registros diarios.	R
Prueba de solapamiento de un período futuro	Detecta los casos en que una observación se envía con retraso y se recibe una observación del día siguiente para verificar la coherencia del período de observación notificado.		R
Prueba de repetición	Comprueba si el valor de la observación, el período o el banderín de calidad han cambiado desde la última actualización.	Se aplica a todos los parámetros.	R

**Pruebas estadísticas:** Analizan estadísticamente los datos históricos para detectar registros incoherentes, improbables o imposibles y marcarlos como sospechosos. Posteriormente, se puede evaluar la validez de los valores sospechosos mediante una investigación manual.

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de rango basado en el clima	Compara el valor meteorológico de la observación con los valores climatológicos extremos superior e inferior.	Los umbrales pueden calcularse para tener en cuenta las variaciones estacionales de las observaciones.	O
Prueba de línea plana	Comprueba la duración de una serie de valores meteorológicos que son iguales, es decir, determina si es improbable que el parámetro no se modifique a lo largo del tiempo.		R

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de cambio rápido	Comprueba que la diferencia entre la observación anterior y la actual no supere un umbral razonable.		R
Prueba de picos	Compara una observación meteorológica dada con los valores anteriores y siguientes.	Similar a la prueba de cambio rápido, pero, en este caso, se busca una subida y bajada (o una bajada y subida) improbable.	R
Prueba de frecuencia (redondeo)	Comprueba los casos de redondeo excesivo de un valor.	Se aplica a las observaciones manuales en las que un operador redondea los valores en lugar de interpolarlos.	OP
Prueba de variabilidad espacial	Climatología diaria que compara las diferencias entre la estación de interés y las estaciones cercanas.		OP
Prueba espacial basada en el análisis cartográfico	Compara el valor meteorológico con los valores de los datos de estaciones circundantes mediante una técnica de análisis cartográfico como el análisis de Barnes.	La prueba espacial basada en el análisis cartográfico se utiliza para ponderar los valores de las estaciones cercanas a fin de estimar un valor en la ubicación de la estación candidata. Alternativamente, el operador del control de la calidad evalúa visualmente la probabilidad de un valor en una ubicación sospechosa respecto de los valores de las estaciones circundantes que se indican en un mapa que refleja la topografía.	R
Prueba espacial por regresión lineal	Compara el valor meteorológico con los valores de los datos de estaciones circundantes mediante regresión lineal.		OP
Prueba de variabilidad espacial por regresión lineal	Utiliza la variabilidad de estaciones vecinas en lugar de las estimaciones del error típico para calcular los límites de la prueba.	Variante de la prueba espacial por regresión lineal y de la prueba de variabilidad espacial.	OP
Prueba de varios días por regresión lineal	Compara la climatología de las diferencias entre la estación de interés y estaciones cercanas durante un período de varios días.	Similar a la prueba espacial por regresión lineal, pero se aplica a varios días.	R

<i>Nombre de la prueba</i>	<i>Descripción breve</i>	<i>Notas</i>	<i>Importancia sugerida</i>
Prueba de temperatura máxima/mínima	Comprobaciones para verificar que la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima es realista (es decir, mayor o igual a cero y menor que un límite superior).	El límite superior se determina a partir de una climatología que utiliza un mínimo de 5 años (preferiblemente 30 años) de datos.	R

Fuentes: *QMS Test Specification* (Especificación de la prueba QMS) (Oficina de Meteorología de Australia (documento interno)), *Climate Data Management System Specifications* (WMO-No. 1131) (Especificaciones del Sistema de Gestión de Datos Climáticos) y *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-Nº 100).

---

## **ANEXO 2. PRUEBAS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y DE CONTROL DE LA CALIDAD: DETALLES**

### **1. PRUEBAS DE RESTRICCIÓN**

Las pruebas de restricción permiten comprobar que las observaciones son técnica y científicamente plausibles en función de los límites teóricos y climatológicos, las especificaciones del equipo informático de los sensores o los límites de la base de datos en la captación de datos.

#### **1.1 Prueba de rango basado en el sensor**

**Descripción breve:** Detecta observaciones que están fuera de los límites teóricos o de las especificaciones del equipo informático del sensor.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura, humedad, presión barométrica y viento.

**Descripción detallada:** En el caso de las observaciones automáticas, la prueba de rango basado en el sensor se realiza generalmente en la estación. En general, los límites los establece el fabricante, habitualmente con datos del Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SMHN). El sensor obtiene mediciones a intervalos de un segundo y, si el valor supera el límite especificado, se excluye. Se requiere un número mínimo de muestras válidas antes de transmitir un valor, y el número de muestras válidas puede variar de un fabricante a otro. De estas muestras válidas se extraen un máximo, un mínimo y una media. Las pruebas también se realizan para las observaciones manuales. Por ejemplo, al restablecer el líquido en los termómetros de líquido en tubo de vidrio, los valores restablecidos se comparan con la temperatura del aire ambiente. En las estaciones de superficie, tanto manuales como automáticas, se comparan las lecturas de los termómetros de vidrio con las sondas de temperatura, aplicando tolerancias razonables.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

#### **1.2 Prueba de rango de la base de datos**

**Descripción breve:** Detecta las observaciones que están fuera del rango de aceptación de captación de datos de la base de datos (restricciones técnicas de la base de datos).

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Todos los parámetros almacenados en la base de datos.

**Descripción detallada:** La prueba de rango de la base de datos puede realizarse en más de un punto, por ejemplo, en el punto de captación en el que el valor observado entra por primera vez en el SMHN y, posteriormente, cuando se integra en el Sistema de Gestión de Datos Climáticos (CDMS). El objetivo es evitar los valores creados por un descuido, por ejemplo, durante una corrección o la captación de datos en la base de datos. Ejemplos: Temperatura > 80 °C, presión negativa.

**Frecuencia de la prueba:** Cuando los datos se integran en el CDMS y en cualquier base de datos anterior.

#### **1.3 Pruebas de atributo**

**Descripción breve:** Determina si el valor meteorológico es probable desde el punto de vista científico.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura, humedad, presión barométrica, viento, etc.

**Descripción detallada:** Esta prueba verifica si un valor observado se encuentra entre el percentil 0,3 y el percentil 99,7 de todos los valores de los últimos 30 años. Se aplica tanto a las observaciones manuales como a las automáticas. Cuando una observación corresponde a un valor acumulado, la observación se divide por el período para comprobar un valor por día.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

## 2. PRUEBAS DE COHERENCIA

Con las pruebas de coherencia los valores incoherentes, improbables o imposibles se rechazan o se marcan como sospechosos. Posteriormente, se puede evaluar la validez de los valores sospechosos mediante una investigación manual.

### 2.1 Prueba de valores subdiarios

**Descripción breve:** Determina si hay coherencia entre los valores registrados en las observaciones subdiarias, por ejemplo, las observaciones cada tres horas, y los valores diarios.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura máxima y mínima diaria del aire y temperatura de bulbo seco.

**Descripción detallada:** Para la temperatura mínima diaria, se calcula y se comprueba la diferencia entre el valor mínimo registrado y la temperatura cada tres horas más baja de las 24 horas anteriores.

En el caso de la temperatura máxima diaria, se calcula y se comprueba la diferencia entre el valor máximo registrado y la temperatura cada tres horas más alta de las 24 horas siguientes.

En ambos casos, se permite un error de lectura de 0,5 °C para tener en cuenta las tolerancias de los instrumentos y de las observaciones en observaciones individuales. Las diferencias significativamente menores a cero deben marcarse, y también deberían marcarse las diferencias muy grandes.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

### 2.2 Prueba de la temperatura mínima diaria frente a la temperatura mínima diaria del suelo

**Descripción breve:** Compara la temperatura mínima diaria y la temperatura mínima diaria del suelo.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura mínima diaria del suelo y temperatura mínima diaria del aire.

**Descripción detallada:** Esta prueba verifica la coherencia entre la temperatura mínima diaria, que se toma en la garita meteorológica (por ejemplo, una garita de Stevenson), y la temperatura mínima del suelo, que se toma en el suelo. El mínimo del suelo será casi siempre menor que el mínimo de la garita. La prueba suele detectar problemas en el mínimo del suelo, ya que esa medición puede ser problemática si no se hace correctamente o si se producen burbujas en el termómetro.

Esta prueba puede generar falsos positivos en los emplazamientos con una concentración elevada de metales pesados en el suelo (por ejemplo, óxido de hierro).

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

**Orden de la prueba:** La prueba se realiza después de evaluar la temperatura mínima del aire.

### 2.3 **Prueba de la diferencia entre la presión media al nivel del mar y la presión al nivel de la estación por hora**

**Descripción breve:** Determina si hay un cambio significativo en la diferencia entre la presión media al nivel del mar y la presión al nivel de la estación durante dos registros consecutivos.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Presión media al nivel del mar por hora y presión al nivel de la estación por hora.

**Descripción detallada:** Se realizan comprobaciones para determinar si hay un cambio significativo en la diferencia entre la presión media al nivel del mar y la presión al nivel de la estación durante dos registros consecutivos. Esta prueba puede realizarse con observaciones cada hora, cada tres horas, etc. Permite verificar que no haya errores de transposición y de cálculo.

**Nota:** En algunas estaciones que utilizan la temperatura del momento en el algoritmo para calcular la presión media al nivel del mar a partir de la presión al nivel de la estación, la relación entre esas dos presiones puede cambiar sustancialmente a lo largo del ciclo de temperatura diurno. Este problema se plantea sobre todo en las estaciones de mayor altitud, donde en invierno se producen fuertes inversiones en niveles bajos.

**Frecuencia de la prueba:** En cada observación.

### 2.4 **Prueba de comparación de datos de múltiples fuentes de precipitación**

**Descripción breve:** Comprueba si los datos de una fuente son coherentes con los de otra fuente. Los datos pueden proceder de instrumentos diferentes o del mismo instrumento desde diferentes medios de entrega o diferentes procesos de captación.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación\*.

**Descripción detallada:** Esta prueba verifica que los datos de una determinada fuente de datos sean coherentes con los datos de otra fuente de datos en el mismo emplazamiento. Los dos datos pueden proceder de instrumentos diferentes o del mismo instrumento desde diferentes medios de entrega o diferentes procesos de captación.

En el caso de los datos procedentes del mismo instrumento, pero obtenidos por medios de entrega diferentes, se espera que los dos valores sean los mismos. Cuando hay una discrepancia y no es posible tomar una decisión objetiva sobre cuál es el valor correcto, los datos se marcan según corresponda. Se aplica el mismo procedimiento a los datos procedentes de diferentes instrumentos. En ambos casos, otras pruebas y análisis (por ejemplo, de distribución espacial y temporal) ayudarán a determinar el valor correcto más probable. Deben utilizarse otros análisis además de esta prueba para detectar las estaciones con discrepancias constantes y averiguar el motivo de dichas discrepancias.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

\*Nota: El mismo enfoque puede utilizarse para otros elementos medidos con varios sensores.

## 2.5 Prueba espacial de precipitación cero

**Descripción breve:** Comprueba los casos en los que se registran precipitaciones significativas en un emplazamiento, pero no en emplazamientos vecinos, o viceversa. Normalmente, esto indica que la precipitación se ha registrado en un día equivocado o que el dato representa un total acumulado durante varios días.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación diaria.

**Descripción detallada:** Esta prueba verifica los casos en que hay un valor de precipitación registrado, pero en las estaciones vecinas no hay ninguno, o viceversa. Esto suele ocurrir cuando el valor se registra en el día equivocado. También puede tratarse de un total acumulado en una o más estaciones, por ejemplo, un total de tres días puede registrarse un lunes si una estación manual no está dotada de personal durante el fin de semana. La discrepancia no necesariamente se refleja en las pruebas espaciales, ya que estas pueden no captar adecuadamente la variabilidad espacial asociada a las lluvias intensas. Hay que tener en cuenta que la eficacia de estas comprobaciones puede verse afectada si la estación "candidata" se encuentra en un régimen climático diferente al de las estaciones vecinas.

Esta prueba está concebida para que el número de resultados de prueba no superada falsos sea bajo en lugar de arrojar muchos posibles datos sospechosos, por lo que, normalmente, la diferencia en cuanto al nivel de precipitaciones entre la estación candidata y las estaciones circundantes tendría que ser significativa.

**Nota:** Esta prueba se podría complementar con la comprobación de los valores iguales a cero a lo largo de varios días durante un período prolongado en situaciones en las que las estaciones vecinas informen sistemáticamente de pequeñas cantidades de precipitación que no sean lo suficientemente significativas como para activar la prueba en un solo día. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando se bloquea un pluviómetro. Así pues, aunque el valor cero específico no se desvíe lo suficiente de los valores registrados en las estaciones vecinas como para resultar sospechoso, los valores acumulados sí hacen evidente el problema.

**Frecuencia de la prueba:** Se realiza diariamente, pero los resultados se analizan en bloques mensuales.

## 2.6 Prueba de estaciones vecinas insuficientes

**Descripción breve:** Comprueba si hay un número suficiente de estaciones vecinas para realizar pruebas espaciales. Esta prueba se realiza generalmente el primer día del mes y para los datos de precipitación.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación.

**Descripción detallada:** Esta prueba verifica los casos en los que no hay suficientes estaciones vecinas para realizar la serie de pruebas espaciales. Generalmente se realiza el primer día del mes (los demás días no se hace). Si la prueba no se supera, el operador del control de la calidad efectuará comprobaciones todos los días del mes.

**Frecuencia de la prueba:** Solo el primer día del mes.

**Orden de la prueba:** Se realiza antes de otras pruebas espaciales de precipitación.

## 2.7 Prueba del período de precipitación

**Descripción breve:** Prueba de coherencia que comprueba si los acumulados de lluvia se solapan o son divergentes.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación diaria.

**Descripción detallada:** Esta prueba evalúa si el valor del período de un registro (el número de días en los que se acumula el registro de precipitaciones) es mayor o menor que el número real de días para los que los datos de precipitaciones se notifican como acumulados. Esta prueba está diseñada específicamente para los registros de precipitaciones. Pueden darse dos casos: solapamiento y divergencia.

Ejemplo de solapamiento: El valor del período de un registro es mayor que las fechas reales de precipitación nula notificadas. Por ejemplo, si se notifica un período de tres días el 4 de mayo, pero el último valor de precipitación distinto de cero se notificó el 2 de mayo, la diferencia real del período (acumulación de lluvia) podría ser de solo dos días: 3 y 4 de mayo. En este ejemplo, primero se evaluaría la exactitud del valor de precipitación del 2 de mayo (la lluvia podría haberse registrado en un día incorrecto). Si los datos de las lluvias del 2 de mayo y del 4 de mayo se consideran correctos, es probable que haya un error en el período. Para determinar si, en efecto, existe un error de período, el operador del control de la calidad se servirá de datos espaciales y otras herramientas, como el radar, para confirmar los análisis. También evaluará el registro de la estación para verificar que los datos se hayan digitalizado correctamente.

Ejemplo de divergencia: El valor del período de un registro es menor que las fechas reales de precipitación nula notificadas. Por ejemplo, si el 6 de mayo se notifica un período de acumulación de lluvia de dos días, pero el último registro de precipitaciones no nulo es del 3 de mayo, la diferencia del período real es de tres días.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

## 2.8 Prueba de seguimiento

**Descripción breve:** Compara si dos o más elementos, o valores del mismo elemento en dos estaciones vecinas, tienen un comportamiento sincrónico previsible (suben y bajan a la par). Esta prueba es muy eficaz y tiene un bajo índice de falsos errores.

**Descripción detallada:** Esta prueba examina la correspondencia de un elemento con otro u otros elementos, o la correspondencia de las observaciones de un mismo elemento con las de un emplazamiento vecino a lo largo del tiempo. Se basa en el concepto muy simple de que se espera que dos o más elementos estrechamente relacionados muestren patrones de variación similares. Al evaluar las anomalías que arroja esta prueba, el operador del control de la calidad debe tener en cuenta las condiciones meteorológicas imperantes, incluidos los efectos locales, y la densidad espacial de la red.

Las pruebas de seguimiento se pueden aplicar, entre otras, a las combinaciones de elementos siguientes:

- presión media al nivel del mar y presión a nivel de estación;
- temperatura mínima del suelo y temperatura mínima del aire;
- temperatura del suelo a dos profundidades;
- temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y temperatura del punto de rocío por hora (especialmente para los termómetros de lectura manual);
- evaporación diaria y precipitación diaria;
- valores de distancia recorrida por el viento por debajo de 3 m y valores de distancia recorrida por el viento a 10 m.

Seguimiento de las correlaciones espaciales entre estaciones vecinas: El operador del control de la calidad puede evaluar visualmente las correlaciones espaciales comparando el trazado de la serie temporal de un emplazamiento concreto con el de un emplazamiento vecino en una



interfaz gráfica de usuario en lugar de recurrir a un algoritmo informático. Este enfoque puede aplicarse a muchos parámetros, en particular, a las redes con buena cobertura espacial. Por lo general, se evalúan de esta manera los siguientes elementos:

- temperatura de bulbo seco por hora;
- temperatura del punto de rocío por hora;
- presión media al nivel del mar y presión al nivel de estación;
- velocidad del viento.

**Frecuencia de la prueba:** En función de la frecuencia de observación de ambos parámetros.

## 2.9 **Prueba de coherencia de la temperatura máxima (mínima) del aire**

**Descripción breve:** Comprueba la coherencia entre la temperatura máxima (mínima) diaria del aire y los valores registrados en las observaciones con una frecuencia subdiaria. Se trata de una aplicación específica de la prueba 2.1 (prueba subdiaria).

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura máxima del aire y temperatura mínima del aire.

**Descripción detallada:** Comprueba la coherencia entre la temperatura máxima del aire diaria y la temperatura del aire cada hora o cada tres horas, es decir, la temperatura que se consigna en los registros cada hora o cada tres horas. En el caso de las observaciones cada tres horas, no se permite que ningún valor trihorario supere la temperatura máxima diaria registrada. Se permite un error de lectura de 0,5 °C. Esta prueba puede realizarse si solo se dispone de una observación por día, pero su eficacia aumenta con observaciones subdiarias más frecuentes.

Notas:

- 1) Esta prueba también es aplicable a las temperaturas mínimas, como se indica en la prueba 2.1.
- 2) Puede utilizarse una variante de esta prueba para comparar la temperatura máxima con las temperaturas a horas fijas para verificar que la máxima no sea superior a las temperaturas a horas fijas en una cantidad determinada. Esta variante es más eficaz para las series de datos con una resolución temporal relativamente alta.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

## 2.10 **Prueba de la hora solar y astronómica**

**Descripción breve:** Determina la diferencia entre la duración de la insolación y la duración del día calculada en horas.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Duración de la insolación.

**Descripción detallada:** Determina la diferencia entre la duración de la insolación y la duración del día calculada. La prueba se considera no superada si la diferencia es mayor que cero.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

## 2.11 **Prueba de coherencia entre la temperatura del aire y la temperatura de bulbo húmedo**

**Descripción breve:** Compara la temperatura del aire con la temperatura de bulbo húmedo.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo.

**Descripción detallada:** Se comparan la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo. Si la temperatura de bulbo húmedo, incluido un valor de tolerancia, es mayor que la temperatura del aire, la prueba se considera no superada.

Cabe señalar que, si bien la tolerancia de esta prueba se aplica a los termómetros de líquido en tubo de vidrio de lectura manual, el mismo algoritmo suele aplicarse a los datos de los sensores termométricos electrónicos. Aunque se tiene presente que la tolerancia de esos sensores debería ser mucho menor, en una red híbrida es conveniente utilizar el mismo algoritmo debido a las dificultades para discriminar el tipo de instrumento en la etapa de control de la calidad.

**Frecuencia de la prueba:** Horaria, pero puede aplicarse a cualquier observación de hora fija.

#### 2.12 **Prueba de coherencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío**

**Descripción breve:** Determina la diferencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura de bulbo húmedo y temperatura del punto de rocío.

**Descripción detallada:** Determina la diferencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío. La prueba se considera no superada si se registra una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del punto de rocío. Esta prueba se aplica a las lecturas termométricas manuales.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

#### 2.13 **Prueba de comparación de las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío**

**Descripción breve:** La temperatura de bulbo húmedo se compara con la temperatura del punto de rocío.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura de bulbo húmedo y temperatura del punto de rocío.

**Descripción detallada:** La temperatura de bulbo húmedo se comprueba con la temperatura del punto de rocío al recalcular la temperatura del punto de rocío a partir de la temperatura del aire de bulbo seco y de bulbo húmedo. Los valores del punto de rocío observados y recalculados deben coincidir con una precisión de un grado. Esta prueba se utiliza para las observaciones manuales en las que el operador calcula la temperatura del punto de rocío. Tiene una mayor sensibilidad que la prueba 2.12 (prueba de coherencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y del punto de rocío), tras la cual se puede ejecutar para comprobar los puntos de rocío calculados incorrectamente que pasan la prueba 2.12. En el caso de los valores del punto de rocío que no superen esta prueba, el operador del control de la calidad deberá volver a calcular el punto de rocío utilizando el método de observación en uso en el país correspondiente.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

#### 2.14 **Prueba de coherencia de las temperaturas del aire y del punto de rocío**

**Descripción breve:** Comprueba si la temperatura del punto de rocío es inferior o igual a la temperatura del aire.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura del punto de rocío y temperatura del aire.

**Descripción detallada:** La temperatura del aire siempre debe ser mayor o igual que la temperatura del punto de rocío, y la temperatura del punto de rocío será igual a la del aire solo cuando el aire esté saturado. Las situaciones en las que puede producirse la saturación del aire son las precipitaciones y las nieblas. Es importante que el operador del control de la calidad evalúe si la temperatura del punto de rocío se deba a las condiciones de saturación y no a un error del observador en el cálculo del punto de rocío o a que la mecha del bulbo húmedo se haya secado.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

### 2.15 **Prueba de coherencia de la visibilidad**

**Descripción breve:** Comprueba la coherencia de la visibilidad con la clave del tiempo presente.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Tiempo presente y visibilidad.

**Descripción detallada:** Comprueba la coherencia entre la visibilidad y la clave del tiempo presente con respecto a banderines de fenómenos (niebla, tormenta de arena, neblina, tormenta de polvo). Esta prueba se refiere a la visibilidad horizontal y se utiliza con observaciones manuales.

Ejemplos de combinaciones improbables o imposibles (deben adaptarse a los distintos climas): Visibilidad por encima de 1 000 m y niebla, visibilidad por encima de 1 000 m o por debajo de 200 m y tormenta de arena o polvo ligera o moderada, visibilidad por encima de 10 km y neblina, etc.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

### 2.16 **Prueba de coherencia de la nubosidad total**

**Descripción breve:** Comprueba la coherencia entre la nubosidad total y varios elementos. Se realiza con observaciones manuales.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Nubosidad total y tiempo presente.

**Descripción detallada:** Comprueba la coherencia de la nubosidad total con respecto a la altura de las nubes y el tiempo presente.

Ejemplos de combinaciones improbables o imposibles: Nubosidad total inferior a la nubosidad de nivel bajo, medio o alto; nubosidad total invisible, pero se observan estelas de precipitación (virga); cielo despejado, pero se producen precipitaciones, etc.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

### 2.17 **Prueba de coherencia de los banderines de fenómenos diarios**

**Descripción breve:** Comprueba la coherencia entre los banderines de fenómenos diarios y las observaciones subdiarias.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Fenómenos como el granizo, la nieve, las tormentas eléctricas, las tormentas de polvo, el viento fuerte, los ventarrones, la helada, la neblina, la calima, la niebla, etc.

**Descripción detallada:** Comprueba la coherencia entre los banderines de fenómenos diarios (días con granizo, truenos, niebla, etc.) y las claves de las tablas subdiarias y otros elementos diarios. Detecta los casos en los que un fenómeno se ha notificado en una clave sinóptica de tiempo presente, pero no se ha marcado en las categorías de fenómenos de medianoche a medianoche<sup>1</sup>, o viceversa. También puede detectar incoherencias entre los fenómenos y otras variables, como la temperatura, el punto de rocío, etc.

Ejemplos de combinaciones sospechosas (nota: puede ser necesario adaptarlas a las diferentes condiciones climáticas): Banderín de nieve y temperatura mínima del aire superior a 9 °C; no figura un banderín de tormenta eléctrica, pero se ha observado una tormenta eléctrica durante el día; no figura un banderín de polvo/calima/niebla, pero la visibilidad está por debajo de los umbrales correspondientes durante el día; figura un banderín de helada, pero la temperatura mínima del aire es superior a 4 °C, entre otros.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

## 2.18 Prueba de coherencia del tiempo presente

**Descripción breve:** Comprueba la coherencia entre las claves de tiempo presente de las tablas subdiarias y otros elementos diarios diversos.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Tiempo presente y temperatura, etc.

**Descripción detallada:** Detecta las combinaciones improbables de tiempo presente y temperatura, como precipitación congelante o niebla helada y temperaturas del aire cálidas. Pueden incluirse otras combinaciones a discreción del SMHN.

Un ejemplo de esta prueba es la comparación de la temperatura del aire con observaciones de depósitos de cencellada y precipitaciones congelantes.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria y subdiaria.

## 2.19. Prueba de la temperatura del suelo

**Descripción breve:** Comprueba la coherencia entre las temperaturas del suelo a varias profundidades

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Lecturas de la temperatura del suelo a profundidades de 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm y 1 m.

**Descripción detallada:** Examina varias combinaciones de temperaturas del suelo a diferentes profundidades (estas temperaturas pueden tener que adaptarse según los diferentes climas):

<i>Elemento estudiado</i>	<i>Expresión de la prueba (debe marcarse como sospechosa si es verdadera)</i>
Temperatura del suelo a 5 cm de profundidad (SUELO 5 temp)	SUELO 5 temp = SUELO 10 temp Y SUELO 5 temp = SUELO 20 temp Y SUELO 5 temp = SUELO 50 temp Y SUELO 5 temp = SUELO 100 temp
	SUELO 5 temp – SUELO 10 temp > 16 O SUELO 10 temp – SUELO 5 temp > 6
Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad (SUELO 10 temp)	SUELO 10 temp – SUELO 20 temp > 10 O SUELO 20 temp – SUELO 10 temp > 6

<sup>1</sup> O bien otro período de 24 horas, según el SMHN.

<i>Elemento estudiado</i>	<i>Expresión de la prueba (debe marcarse como sospechosa si es verdadera)</i>
Temperatura del suelo a 20 cm de profundidad (SUELO 20 temp)	SUELO 50 temp – SUELO 20 temp > 6 O SUELO 20 temp – SUELO 50 temp > 7
Temperatura del suelo a 50 cm de profundidad (SUELO 50 temp)	SUELO 50 temp – SUELO 100 temp > 7 O SUELO 100 temp – SUELO 50 temp > 4
Nota: Las temperaturas del suelo se expresan en grados Celsius.	

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

## 2.20 Prueba de coherencia del mensaje

**Descripción breve:** Comprueba si todos los mensajes contienen el mismo valor para un parámetro determinado cuando se reciben varios mensajes sobre la misma observación.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Todos los parámetros almacenados en la base de datos.

**Descripción detallada:** Detecta los casos en los que se reciben varios mensajes sobre la misma observación. La prueba verifica si los mensajes contienen el mismo valor para un parámetro determinado. Si hay varios mensajes con valores distintos, la prueba se considerará no superada.

**Frecuencia de la prueba:** Según se generen los mensajes.

## 2.21 Prueba de los valores máximos y mínimos de los datos de un minuto

**Descripción breve:** Compara la temperatura máxima o mínima notificada con el correspondiente valor de un minuto en el momento de la temperatura máxima o mínima para verificar que los valores coinciden.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura máxima del aire y temperatura mínima del aire.

**Descripción detallada:** Compara la temperatura máxima o mínima notificada con el correspondiente valor de un minuto en el momento de la temperatura máxima o mínima para verificar que los valores coinciden. Esta prueba está diseñada para detectar la deriva del reloj de las estaciones meteorológicas automáticas y los datos de un minuto que faltan. Si la temperatura del aire de un minuto no coincide con la temperatura del aire máxima diaria o la temperatura del aire mínima diaria, o si faltan los datos de un minuto en el momento de la temperatura máxima o mínima notificada, la prueba se considerará no superada. Esta prueba también incluye una prueba de picos que compara el valor de un minuto tanto del minuto anterior como del minuto posterior al extremo diario para verificar que la diferencia no sea superior a 0,5 °C para la temperatura mínima y a 1,0 °C para la temperatura máxima.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

## 3. PRUEBAS HEURISTICAS

Las pruebas heurísticas (generalmente de variables múltiples) se basan en la experiencia y el conocimiento de los procesos de observación, las técnicas y el instrumental para detectar registros incoherentes, improbables o imposibles y marcarlos como sospechosos. Posteriormente, se puede evaluar la validez de los valores sospechosos mediante una investigación manual.

### 3.1. **Prueba de la humedad relativa con bulbo húmedo seco**

**Descripción breve:** Prueba para determinar si la mecha del bulbo húmedo se ha secado o está contaminada.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Temperatura de bulbo húmedo y temperatura de bulbo seco.

**Descripción detallada:** Esta prueba permite determinar si una mecha de bulbo húmedo se ha secado, para lo que se analizan las observaciones realizadas a las 15.00 horas en las que la humedad relativa es  $>90\%$ . Para reducir la tasa de falsos errores, se eliminan los casos en los que hay precipitaciones o niebla, además de una humedad relativa  $>90\%$ , y se examinan las claves del tiempo pasado y presente.

La prueba se realizará solo si:

- la hora de observación son las 15.00 horas (o la hora equivalente en la tarde en la que se lee el termómetro de máxima);
- la elevación es  $<100$  m (esta prueba no permite diferenciar los efectos de las nubes orográficas de los efectos del secado de los bulbos húmedos).

**Frecuencia de la prueba:** Todos los días a las 15.00 horas (o a la hora equivalente en la tarde en la que se lea el termómetro de máxima).

## 4. **PRUEBAS DE SUMINISTRO DE DATOS**

Las pruebas de suministro de datos sirven para verificar que las observaciones que no coincidan con el calendario de observaciones previsto se rechacen o se marquen como sospechosas.

### 4.1 **Prueba de la hora de la observación recibida con antelación**

**Descripción breve:** Normalmente se presenta como un informe de casos en los que el observador ha enviado la observación con antelación.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Compara la hora local de la observación con la hora en que se recibió la observación.

**Descripción detallada:** El SMHN o una entidad regional local establecerá la "precocidad" máxima admisible de las observaciones. Por ejemplo, si el límite se fija en 30 minutos, se aceptarán los datos de las observaciones notificadas hasta 30 minutos antes de la hora de observación oficial. Se recomienda llevar un registro en el que se indiquen las observaciones tempranas recibidas de una estación de forma sistemática para poner de manifiesto las deficiencias en la práctica de la observación; estos registros pueden utilizarse para establecer prioridades en cuanto a las necesidades de formación.

**Frecuencia de la prueba:** Cuando se reciban observaciones con antelación.

### 4.2 **Prueba de la diferencia de período**

**Descripción breve:** Determina si el período (acumulación de días) coincide con los registros presentes.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Parámetros diarios.

**Descripción detallada:** Se aplica a las observaciones diarias y simplemente comprueba si los períodos (acumulación de días) coinciden con los registros presentes. Por ejemplo, se recibe un mensaje sinóptico para el lunes por la mañana de una estación que no ha registrado datos durante el fin de semana. Habrá que comprobar los valores de temperatura máxima y mínima en la base de datos para ese lunes, ya que pueden ser valores de varios días, aunque estén archivados como un valor de un solo día. Véase también la sección sobre la prueba 2.5 (prueba espacial de precipitación cero).

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

#### 4.3 **Prueba de período largo**

**Descripción breve:** Determina si los períodos (acumulaciones de días) son excesivamente largos (un período de varios días) para aquellos parámetros a los que un gran intervalo entre lecturas diarias puede afectar la integridad de los datos. Por ejemplo, si las precipitaciones no se leen durante cinco días en un clima cálido, es probable que el total de las precipitaciones se reduzca por la evaporación.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Lecturas diarias de lluvia y evaporación.

**Descripción detallada:** La prueba de período largo detecta períodos excesivamente largos que pueden afectar la validez de la lectura. En el caso de las lluvias y la evaporación, puede ser aceptable un intervalo de tiempo menor en función del clima y los requisitos del usuario del SMHN. Dicho Servicio puede recurrir a esta prueba para establecer los límites del número de días a partir de los cuales los totales de lluvia y evaporación pueden considerarse sospechosos.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

#### 4.4 **Prueba de solapamiento de un período futuro**

**Descripción breve:** Detecta los casos en que una observación se envía con retraso y se recibe una observación del día siguiente para verificar la coherencia del período de observación notificado.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Parámetros diarios.

**Descripción detallada:** Detecta los casos en que una observación se envía con retraso y se recibe una observación del día siguiente para verificar la coherencia del período de observación notificado. Si el período notificado en el mensaje del día siguiente no coincide con el período esperado, la prueba no se habrá superado. Un ejemplo de una situación que no superaría la prueba de solapamiento de un período futuro sería el siguiente:

- La observación diaria del día 8 no se envía a tiempo.
- La observación diaria del día 9 enviada corresponde a un período de dos días.
- Tras la recepción de la observación diaria del día 9, se envía la observación diaria del día 8, lo que provoca una incoherencia con el período comunicado el día 9.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

#### 4.5 **Prueba de repetición**

**Descripción breve:** Comprueba si el valor de la observación, el período o el banderín de calidad han cambiado desde la última actualización. Si ha habido algún cambio desde la última actualización, la prueba se considerará no superada.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Todos los parámetros almacenados en la base de datos.

**Descripción detallada:** Comprueba si el valor de la observación, el período o el banderín de calidad han cambiado desde la última actualización. Si ha habido algún cambio desde la última actualización, la prueba se considerará no superada. La prueba se dará por superada si un operador del control de la calidad que figure en la lista de usuarios aceptados ha modificado el valor, el período o el banderín de calidad. Así pues, las operaciones de control de la calidad no supondrán que la prueba se considere no superada.

**Frecuencia de la prueba:** Según proceda.

## 5. PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Las pruebas estadísticas analizan estadísticamente los datos históricos para detectar registros incoherentes, improbables o imposibles y marcarlos como sospechosos. Posteriormente, se puede evaluar la validez de los valores sospechosos mediante una investigación manual.

### 5.1 Prueba de rango basado en el clima

**Descripción breve:** Compara el valor meteorológico con los valores climatológicos superiores e inferiores. Se pueden utilizar diferentes umbrales para tener en cuenta las variaciones estacionales del clima local. Los valores que se encuentren fuera de estos límites se marcarán como sospechosos o, como mínimo, se someterán a una investigación adicional.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Generalmente, observaciones diarias, pero también puede utilizarse para elementos subdiarios si se ha determinado un parámetro de supervisión de la calidad adecuado.

**Descripción detallada:** Compara el valor meteorológico con los valores climatológicos superiores e inferiores. La eficacia de esta prueba depende de que el registro temporal sea lo suficientemente largo (se recomiendan al menos 30 años) como para garantizar que el parámetro de supervisión de la calidad represente toda la variabilidad del clima. Por lo tanto, esta prueba no será fiable en emplazamientos nuevos y emplazamientos con registros temporales incompletos; para este tipo de emplazamientos, se puede utilizar el parámetro de supervisión de la calidad de una estación cercana con un clima similar, pero cuyo registro temporal sea más largo.

En lugar de utilizar un parámetro de supervisión de la calidad fijo, este puede basarse en una prueba estadística (por ejemplo, más de tres o cuatro desviaciones estándar de la media). No obstante, hay que proceder con cautela a la hora de establecer estos parámetros, ya que algunas variables meteorológicas tienen distribuciones de frecuencia que difieren sustancialmente de la distribución normal (gausiana).

**Frecuencia de la prueba:** Diaria y subdiaria.

### 5.2 Prueba de línea plana

**Descripción breve:** Comprueba si una serie de valores meteorológicos se mantiene igual durante un período de tiempo sospechoso, es decir, comprueba si el parámetro no se modifica a lo largo del tiempo.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Parámetros diarios y subdiarios.



**Descripción detallada:** Las líneas planas pueden producirse debido a un problema del equipo o cuando se introducen manualmente datos incorrectos. Es importante señalar que esta prueba tiene una eficacia limitada para algunos parámetros que presentan una variabilidad pequeña, como las temperaturas del suelo tomadas muy por debajo del nivel de la superficie.

**Frecuencia de la prueba:** Según la observación.

### 5.3 Prueba de cambio rápido

**Descripción breve:** Comprueba la diferencia entre el valor observado en el momento y el valor anterior para verificar si tienen sentido.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Parámetros subsidiarios con una frecuencia de observación de tres horas o menos.

**Descripción detallada:** Detecta problemas en los datos cuando se ha producido un aumento o disminución rápido de los datos con el tiempo debido a factores no meteorológicos. Como esta prueba supone que el cambio rápido no se debe a la variabilidad meteorológica, pierde sensibilidad para intervalos de observación más largos.

La variabilidad del parámetro puede no ser constante en cada estación o mes, y puede no ser constante en cada hora. Esa variación temporal y espacial puede justificar el cálculo de parámetros de supervisión de la calidad discretos a nivel de estación, mes y hora.

Cuando el período de tiempo entre el valor observado y el valor siguiente o anterior es superior a tres horas, esta prueba no suele realizarse.

**Frecuencia de la prueba:** Según la observación.

### 5.4 Prueba de picos

**Descripción breve:** Compara una observación meteorológica dada con los valores anteriores y siguientes.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Datos subsidiarios. Esta prueba es especialmente adecuada para los datos de alta frecuencia de estaciones meteorológicas automáticas (EMA).

**Descripción detallada:** Es similar a la prueba de cambio rápido, con la diferencia de que esta prueba busca saltos repentinos seguidos de caídas repentinas en una variable, o viceversa. Estas variaciones pueden reflejar, por ejemplo, un pico de tensión en una EMA. Los límites de los parámetros de supervisión de la calidad en la prueba de picos son menores que los de la prueba de cambio rápido. Cuando el período de tiempo entre el valor observado y el valor siguiente o anterior es superior a tres horas, esta prueba no se realiza. La prueba de picos funciona mejor con datos de alta frecuencia para períodos de observación inferiores a 20 minutos.

**Frecuencia de la prueba:** Según la observación.

### 5.5 Prueba de frecuencia (redondeo)

**Descripción breve:** Comprueba los casos de redondeo excesivo de un valor. Esta prueba es aplicable a las observaciones manuales en las que un operador redondea a las líneas de graduación del instrumento en lugar de estimar el valor entre las graduaciones del instrumento.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Suele utilizarse cuando los termómetros y pluviómetros se leen manualmente.

**Descripción detallada:** La frecuencia de aparición del último dígito (por ejemplo, el primer decimal para elementos como la temperatura) se examina a lo largo de un número de días y se almacena como parámetro de supervisión de la calidad. Si la frecuencia de uno de los valores es "alta", por ejemplo, si hay un número sospechosamente alto de valores que terminan en cero, la prueba se considera no superada. La frecuencia se expresa en términos de porcentaje de los valores analizados. Cabe señalar que los valores redondeados no se consideran sospechosos; se marcan con un banderín para indicar un nivel de confianza más bajo. Esta prueba es importante para detectar carencias formativas.

La prueba de frecuencia (redondeo) se realiza para todo un mes y se asigna a un elemento y una fecha designados.

Esta prueba solo se realiza si al menos el 75 % de los valores existen (y son distintos de cero) durante el período en cuestión.

**Frecuencia de la prueba:** Mensual.

## 5.6 Prueba de variabilidad espacial

**Descripción breve:** Se comparan las diferencias entre la estación de interés y las estaciones cercanas.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Parámetros diarios y subdiarios.

**Descripción detallada:** La diferencia entre una estación y sus vecinas se calcula y se compara con un umbral razonable, por ejemplo, la desviación estándar de dichas diferencias calculada a partir del registro histórico.

**Frecuencia de la prueba:** Según la frecuencia de observación.

## 5.7 Prueba espacial basada en el análisis cartográfico

**Descripción breve:** Compara el valor de un elemento meteorológico dado con los valores de los datos de estaciones circundantes. Para ponderar las estaciones cercanas se utiliza una técnica de análisis cartográfico, como el análisis de Barnes<sup>2</sup>.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Parámetros diarios y subdiarios.

**Descripción detallada:** El objetivo del análisis cartográfico es estimar un valor de una estación determinada basándose en los valores reales de puntos de la región general en la que se encuentra la estación utilizando una función de ponderación objetiva (los puntos cercanos deberían influir más y, por tanto, se les debería asignar una mayor ponderación).

El principio básico es que un valor de la variable considerada se evalúa a través de la interpolación basada en el análisis cartográfico a partir de una serie de puntos de la red<sup>3</sup> (los puntos de la red que corresponden a las ubicaciones de las estaciones). La ubicación de cada estación cuenta con el valor realmente observado y el valor interpolado basado en los datos de todas las demás observaciones cercanas (la influencia de una observación en un punto se determina mediante una función de ponderación). En el punto P analizado, el valor observado se compara con el valor interpolado estimado por análisis cartográfico.

<sup>2</sup> Otros tipos de análisis cartográficos basados en el espacio son, por ejemplo, los que incorporan la elevación como tercera dimensión para variables como la temperatura y la precipitación, que son sensibles a la topografía.

<sup>3</sup> En esta descripción del algoritmo, la red es simplemente la ubicación de las estaciones, por lo que la interpolación se hace directamente a las ubicaciones de las estaciones. Como alternativa, si se dispone de un análisis reticulado del terreno, la interpolación a las ubicaciones de las estaciones puede hacerse a partir de la retícula. Esta alternativa podría ser adecuada, por ejemplo, para las pruebas relacionadas con la predicción numérica del tiempo.

Restricciones:

- 1) La prueba pierde sensibilidad si la distancia entre la estación objeto de la prueba y las estaciones con las que esta se compara supera un valor determinado. Los SMHN tendrán que fijar la distancia máxima admisible. En Australia, las regiones para las que se dispone de pocos datos son relativamente planas y con un clima homogéneo, por lo que se establece un rango de 200 km. Las estaciones que se encuentran más allá de esta distancia se excluyen del análisis.
- 2) Los resultados de esta prueba deben interpretarse en función de las características locales del emplazamiento. En particular, en topografías complejas o cerca de la costa pueden darse importantes gradientes en algunas variables meteorológicas. Para poder interpretar en detalle los resultados de esta prueba conviene tener un cierto conocimiento de los emplazamientos en cuestión. Por ejemplo, un emplazamiento situado en la cima de una colina o en una ladera puede registrar sistemáticamente temperaturas mínimas más altas que otros emplazamientos de la región situados en valles o llanuras.

Nota: Aparte de la interpolación estadística, la verosimilitud o no de los valores puede evaluarse mediante una inspección visual de los valores de la estación sospechosa con respecto a los valores de estaciones circundantes. En el caso de una inspección visual, se dan las mismas limitaciones que las indicadas anteriormente.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria y subdiaria, pero puede aplicarse a otros períodos de tiempo, como el mensual.

## 5.8 Prueba espacial por regresión lineal

**Descripción breve:** Compara el valor meteorológico con los valores de los datos de estaciones circundantes mediante regresión lineal.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación diaria, pero puede adaptarse a otros parámetros.

**Descripción detallada:** El análisis espacial por regresión lineal<sup>4</sup> arroja una estimación de un elemento en una estación y momento dados que se basa en el buen nivel de correlación de las estaciones vecinas y esa estación a lo largo del tiempo. La correlación se calcula mediante regresión lineal, y las estaciones que mejor se correlacionan con la estación estudiada reciben una mayor ponderación estadística que las estaciones cuya correlación no es tan estrecha.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria, pero puede adaptarse a otras frecuencias de observación.

## 5.9 Prueba de variabilidad espacial por regresión lineal

**Descripción breve:** Utiliza la variabilidad de estaciones vecinas en lugar de las estimaciones del error típico para calcular los límites de la prueba. Esta prueba es una variación de la prueba espacial por regresión lineal.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación diaria, pero puede adaptarse a otros parámetros.

**Descripción detallada:** Utiliza la variabilidad de las observaciones en estaciones vecinas (en el mismo momento de la observación), en lugar de las estimaciones del error estándar, para calcular los límites de la prueba. Está diseñada para evaluar la fiabilidad de los datos

<sup>4</sup> Adaptado de un método descrito en Hubbard, K. G., Goddard, S., Sorensen, W. D., Wells, N. y Osugi, T. T, "Performance of Quality Assurance Procedures for an Applied Climate Information System", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **2005**, 22(1), 105-112. Disponible en: <https://doi.org/10.1175/JTECH-1657.1>.

de estaciones vecinas en el análisis de las variaciones. Esta prueba se adapta bien a las precipitaciones cuando hay cambios en la variabilidad de un conjunto de observaciones en una región determinada.

Restricciones:

- 1) Esta prueba pierde sensibilidad si las estaciones con las que se realiza la comparación están demasiado lejos o tienen una elevación demasiado diferente de la estación estudiada. Los SMHN tendrán que determinar el rango máximo admisible. En Australia, el rango de elevación para un clima "homogéneo" se establece en un máximo de 300 m.
- 2) También debe tenerse en cuenta el tipo de situación pluviométrica, ya que, en situaciones en las que se producen tormentas aisladas, incluso estaciones que pueden considerarse cercanas pueden diferir significativamente en sus totales diarios.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria, pero puede adaptarse a otras frecuencias de observación.

### 5.10 **Prueba de varios días por regresión lineal**

**Descripción breve:** Compara la climatología de las diferencias entre la estación de interés y estaciones cercanas durante un período de varios días. Es similar a la prueba espacial por regresión lineal, pero se aplica a varios días. Esta prueba permite detectar estaciones pluviométricas potencialmente sospechosas en las que el observador no lee regularmente el pluviómetro.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Precipitación diaria, pero puede adaptarse a otros parámetros.

**Descripción detallada:** Aunque es similar a la prueba espacial por regresión lineal, los valores que utiliza deben definirse de forma diferente. En el caso de las acumulaciones, la precipitación es la suma de las lecturas diarias de estaciones vecinas, la temperatura máxima es la más alta de las lecturas diarias de estaciones vecinas y la temperatura mínima es la más baja de las lecturas diarias de estaciones vecinas.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria, pero puede adaptarse a otras frecuencias de observación.

### 5.11 **Prueba de temperatura máxima/mínima**

**Descripción breve:** Comprobaciones para verificar que la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima es realista (es decir, mayor o igual a cero y menor que un límite superior). Los límites se determinan a partir de una climatología que utiliza un mínimo de 5 años (preferiblemente 30 años) de datos. Esta prueba permite detectar errores de lectura manual, que suelen ser inexactos en 5 o 10 °C.

**Parámetros a los que se aplica la prueba:** Valores de temperatura máxima y mínima del aire diaria.

**Descripción detallada:** Se calcula la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima. La prueba se considera no superada si la diferencia es menor que cero (el máximo es menor que el mínimo) o excede un límite superior.

Si la diferencia es menor que cero, el valor es erróneo, pero si excede el límite superior, se considera que es sospechoso.

**Frecuencia de la prueba:** Diaria.

---

Para más información, diríjase a:

## **Organización Meteorológica Mundial**

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

**Oficina de Comunicaciones Estratégicas**

Tel.: +41 (0) 22 730 87 40/83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: [communications@wmo.int](mailto:communications@wmo.int)

[public.wmo.int](http://public.wmo.int)