

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

	<i>Página</i>
CAPÍTULO 14. OBSERVACIÓN DEL TIEMPO PRESENTE Y DEL TIEMPO PASADO; ESTADO DEL TERRENO	492
14.1 Generalidades	492
14.1.1 Definiciones	492
14.1.2 Unidades y escalas	492
14.1.3 Requisitos meteorológicos	493
14.1.4 Métodos de observación	493
14.2 Observación del tiempo presente y del tiempo pasado	494
14.2.1 Precipitación	494
14.2.1.1 Objetos de observación	494
14.2.1.2 Instrumentos y dispositivos de medición: tipo de precipitación	494
14.2.1.3 Instrumentos y dispositivos de medición: intensidad y carácter de la precipitación	496
14.2.1.4 Instrumentos y dispositivos de medición: enfoque multi- instrumental	497
14.2.2 Transparencia atmosférica y partículas en suspensión	498
14.2.2.1 Objetos de observación	498
14.2.2.2 Instrumentos y dispositivos de medición: características de la transparencia atmosférica y de las partículas en suspensión	498
14.2.3 Otros fenómenos meteorológicos	499
14.2.3.1 Objetos de observación	499
14.2.3.2 Instrumentos y dispositivos de medición	500
14.2.4 Estado del cielo	500
14.2.4.1 Objetos de observación	500
14.2.4.2 Instrumentos y dispositivos de medición	500
14.3 Observación del estado del terreno	501
14.3.1 Objetos de observación	501
14.3.2 Instrumentos y dispositivos de medición	501
14.4 Observación de fenómenos especiales	502
14.4.1 Fenómenos eléctricos	502
14.4.2 Fenómenos ópticos (fotometeoros)	502
 ANEXO. CRITERIOS PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN DÉBIL, MODERADA O FUERTE	 503
 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	 505

CAPÍTULO 14. OBSERVACIÓN DEL TIEMPO PRESENTE Y DEL TIEMPO PASADO; ESTADO DEL TERRENO

14.1 GENERALIDADES

14.1.1 Definiciones

En la práctica de la observación se considera que la expresión *tiempo meteorológico* se refiere a observaciones del estado de la atmósfera y de los fenómenos asociados, que en un principio no se preveía medir cuantitativamente. Dichas observaciones son descripciones cualitativas de los fenómenos observados en la atmósfera o en la superficie de la Tierra, como la precipitación (hidrometeoro que cae a través de la atmósfera), las partículas suspendidas en el aire o llevadas por el viento (hidrometeoros y litometeoros), u otros fenómenos ópticos (fotometeoros) o manifestaciones eléctricas (electrometeoros) especialmente designados. En OMM (1975) pueden encontrarse descripciones detalladas.

Un *hidrometeoro* es un conjunto de partículas de agua líquida o sólida, que pueden estar suspendidas en el aire, caer a través de la atmósfera, ser levantadas por el viento desde la superficie de la Tierra o ser depositadas sobre objetos en el suelo o en el aire libre.

Un *litometeoro* es un conjunto de partículas, la mayoría de las cuales son sólidas y no acuosas. Las partículas están más o menos suspendidas en el aire o pueden ser levantadas desde el suelo por el viento.

Un *fotometeoro* es un fenómeno luminoso producido por reflexión, refracción, difracción o interferencia de la luz procedente del Sol o de la Luna.

Un *electrometeoro* es una manifestación, visible o audible, de la electricidad atmosférica.

Los fenómenos meteorológicos localizados constituyen una clase especial de fenómenos meteorológicos. En OMM (1992) puede encontrarse la definición de estos fenómenos. Los fenómenos específicos como los remolinos de polvo y las nubes de embudo se definen y se describen en la sección 14.2.3.

En las observaciones meteorológicas se consigna el tiempo de dos maneras. El *tiempo presente* es una descripción de los fenómenos meteorológicos presentes en el momento de la observación. El *tiempo pasado* se utiliza para describir los fenómenos meteorológicos significativos ocurridos durante la hora anterior, pero que no aparecen durante el momento de la observación.

En este capítulo también se describen los métodos de observación de un elemento relacionado, a saber, el estado del terreno. El *estado del terreno* se refiere a la condición de la superficie de la Tierra como resultado de los fenómenos meteorológicos y climatológicos recientes, en términos de la cantidad de humedad o de la descripción de cualquier tipo de acumulación de partículas sólidas, o acuosas o no acuosas que cubren la superficie normal.

14.1.2 Unidades y escalas

En las estaciones dotadas de personal, las observaciones especificadas como tiempo presente, tiempo pasado o estado del terreno, se comunican junto con los datos cuantitativos. Dichas observaciones se han normalizado en escalas que permiten al observador seleccionar un término apropiado para una gran cantidad de descripciones obtenidas a través de las percepciones de observadores humanos y que se enuncian en OMM (2011).

Desde 1990, el establecimiento de estaciones meteorológicas automáticas ha generado la necesidad de cuantificar las funciones desempeñadas hasta ahora por los observadores.

Para incorporar los diversos grados de complejidad y efectividad en las observaciones de tiempo presente y de tiempo pasado realizadas en estaciones meteorológicas automáticas, en OMM (2011) se ofrecen instrucciones de cifrado específicas. Dada la complejidad de la transmisión de datos sobre el tiempo presente y el tiempo pasado mediante sofisticados sistemas de observación del tiempo presente, esos datos deberían transmitirse como cantidades en un modelo de clave binaria, puesto que el modelo de clave alfanumérica está sujeto a numerosas restricciones en la presentación de informes completos¹.

14.1.3 Requisitos meteorológicos

El tiempo pasado y el tiempo presente, así como el estado del terreno, se utilizan principalmente como descripción cualitativa de los fenómenos meteorológicos. Son un requisito sobre todo por los efectos que tienen sobre las actividades humanas y la seguridad en el transporte, y también por la importancia que revisten para entender y predecir los sistemas meteorológicos sinópticos. En otros capítulos de esta Guía se tratan temas afines. La medición cuantitativa de la precipitación se describe en el capítulo 6 de la parte I y las observaciones de las nubes, en el capítulo 15 de la parte I. En la parte II se abordan temas específicos relativos a las observaciones aeronáuticas, las observaciones marinas, los sistemas automatizados, los radares y las cuestiones atmosféricas.

En el presente capítulo, las observaciones meteorológicas de interés para la determinación del tiempo presente y del tiempo pasado se dividen en tres tipos, a saber: las precipitaciones (caída de hidrometeoros), la transparencia atmosférica y las partículas en suspensión (litometeoros e hidrometeoros en suspensión o llevados por el viento), y otros fenómenos meteorológicos (como las nubes de embudo, las turbonadas y los relámpagos). La precipitación líquida o la niebla que deja depósitos congelados sobre las superficies se incluyen en la categoría correspondiente a precipitación e hidrometeoros en suspensión.

Otros fenómenos, como los de naturaleza óptica (fotometeoros) o los electrometeoros diferentes del relámpago, son indicadores de condiciones atmosféricas particulares y se pueden incluir en el registro habitual de la sucesión de fenómenos meteorológicos ocurridos que mantiene la estación. Aunque no son importantes para la determinación del tiempo pasado y del tiempo presente, al cifrar las observaciones meteorológicas normalizadas, se los incluye solo para que el tema quede bien tratado.

14.1.4 Métodos de observación

Para observar todas las modalidades diferentes del tiempo meteorológico, en la actualidad solo se cuenta con las observaciones visuales y auditivas efectuadas por un observador humano capacitado. No obstante, dado el costo elevado que implica el mantenimiento del personal compuesto por un número significativo de observadores capacitados, algunos Servicios Meteorológicos utilizan cada vez más los sistemas de observación automatizados en las redes primarias de observación, y también para seguir complementando las redes de estaciones dotadas de personal con observaciones automatizadas procedentes de zonas distantes.

Estudios teóricos (Bespalov y otros, 1983) han confirmado la posibilidad de determinar los fenómenos meteorológicos mediante el análisis lógico de un grupo de variables de datos. No se dispone actualmente de un único sensor para clasificar todos los fenómenos de tiempo presente, por lo que para efectuar esas determinaciones se utilizan los datos obtenidos de varios sensores (por ejemplo, visibilidad, temperatura, punto de rocío, velocidad de viento y diferenciación entre lluvia y nieve). Los sistemas de observación automatizados tienen la capacidad de realizar ese análisis lógico, pero sus posibilidades de observación de los fenómenos meteorológicos necesarios varían según los instrumentos del sistema y la complejidad de los algoritmos.

¹ La Recomendación 3 (CBS-XII) se refiere al requisito de “notificar cantidades observadas en lugar de parámetros cualitativos sobre el estado actual del tiempo en la observación mediante estaciones automáticas en las claves FM 94 BUFR y FM 95 CREX”.

Aunque los sistemas automatizados no pueden observar todos los tipos de fenómenos meteorológicos, sí lo hacen en el caso de los más importantes y, por ello, son una alternativa rentable con respecto al observador humano plenamente capacitado.

14.2 **OBSERVACIÓN DEL TIEMPO PRESENTE Y DEL TIEMPO PASADO**

Las observaciones que se registrarán como tiempo presente y tiempo pasado incluyen los fenómenos siguientes: precipitación (lluvia, llovizna, nieve, hielo granulado, cinarra, polvo brillante y granizo), transparencia atmosférica y partículas en suspensión (calima, polvo, humo, neblina, niebla, arrastre eólico de nieve, tempestades de polvo o arena, tolvánicas), nubes de embudo, turbonadas y relámpagos.

En la observación del tiempo presente es necesario tener en cuenta los diversos fenómenos que ocurren en la estación o en el campo visual de la misma durante la hora de observación. En los informes sinópticos, cuando no haya precipitaciones en el momento de la observación, se tendrán en cuenta las condiciones imperantes durante la última hora para seleccionar los dígitos de la clave.

14.2.1 **Precipitación**

14.2.1.1 **Objetos de observación**

Pueden definirse tres formas del *carácter de la precipitación*: chubasco, precipitación intermitente y precipitación continua. El chaparrón o chubasco es un fenómeno de precipitación asociado con nubes convectivas físicamente separadas. Los observadores (o los instrumentos que los sustituyen) clasificarán también la precipitación en tres categorías de intensidad: débil, moderada o fuerte, según la cantidad de precipitación caída en un período de tiempo determinado u otros factores relacionados (tales como la visibilidad).

El *tipo de precipitación* (lluvia, llovizna, nieve, granizo) es el tercero de los principales elementos observables de la precipitación. Las observaciones de lluvia o llovizna a temperaturas bajas deberían indicar si la precipitación es engelante o no. Por definición, la lluvia o llovizna engelante origina el hielo liso por congelamiento al entrar en contacto con objetos sólidos. Las precipitaciones sólidas pueden ocurrir en forma de polvo brillante, cinarra, cristales de nieve aislados con forma de estrella, hielo granulado y granizo, y su descripción completa se ofrece en OMM (1975).

La definición de la escala de *intensidad de la precipitación* dependerá del carácter de la precipitación (intermitente, continua, chubasco) y del tipo (lluvia, llovizna, nieve, granizo). En varias reuniones conjuntas de equipos de expertos de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación y de la Comisión de Sistemas Básicos se han desarrollado tablas que permiten obtener una relación más universal entre la interpretación cualitativa y subjetiva de un observador y las cantidades medidas mediante un sistema de observación de tiempo presente. En el anexo figura un ejemplo de estas tablas y de otras relaciones.

14.2.1.2 **Instrumentos y dispositivos de medición: tipo de precipitación**

Un aspecto importante de los instrumentos consiste en la determinación del tipo de precipitación. Por lo general, los sistemas que se están sometiendo a evaluación o se utilizan con fines operativos se basan en métodos ópticos o en radares (Van der Meulen, 2003). Las pruebas efectuadas sobre el terreno (OMM, 1998) demuestran que todos esos sistemas son capaces de detectar los principales tipos de precipitación, salvo la nieve o llovizna muy débiles, en más del 90% de los casos en comparación con un observador capacitado. El porcentaje de detección de

una precipitación muy débil suele ser mucho menor². Se necesitan algoritmos muy complejos para diferenciar los diversos tipos de precipitación. Por ejemplo, resulta difícil distinguir la nieve húmeda o la nieve fundida de la lluvia. A continuación, se enumeran los sensores que detectan el tipo de precipitación.

Sensor de tiempo presente de dispersión frontal/retrodispersión

Se utilizan diversos sensores de dispersión para notificar el tiempo presente, en particular el tipo de precipitación. Por lo general, se observa la luz que, procedente de una fuente, es dispersada por las partículas de precipitación bajo un ángulo fijo, lo cual proporciona información sobre el tamaño de las partículas. Otras mediciones (por ejemplo, el contenido de agua de las partículas, la velocidad de caída y la temperatura) ayudan a determinar la naturaleza de las partículas. Por ejemplo, las partículas grandes con un contenido de agua reducido se clasificarán como nieve. Algunos sensores registran una precipitación no identificada cuando el sistema no puede determinar adecuadamente el tipo de precipitación. Ello ocurre principalmente si la intensidad de la precipitación es baja y al comienzo y al final de los episodios de precipitación. Además del tipo de precipitación, estos sensores también pueden señalar (según el tipo de sensor) la intensidad de la precipitación, la duración de la precipitación (y, por lo tanto, pueden indicar la precipitación intermitente) y la visibilidad.

Se hace un uso generalizado de estos sensores, que suelen dar resultados aceptables para los tipos comunes de precipitación (lluvia, nieve), con unas tasas de detección de entre el 70% y el 90% (OMM, 1998), según el tipo exacto de prueba establecida y el instrumento específico. Otros tipos de precipitación no se observan tan bien, especialmente la precipitación mixta (lluvia y nieve) y el granizo. Los umbrales para la precipitación débil pueden variar.

Disdrómetro óptico

Los disdrómetros ópticos también se utilizan para determinar el tipo de precipitación. Estos instrumentos utilizan la atenuación en un haz horizontal de luz en capa para detectar hidrometeoros. Cuando una partícula cae a través de la capa de luz, la intensidad del receptor se reduce. La cuantía de esta reducción se corresponde con el tamaño de la partícula, y la duración se corresponde con la velocidad de caída de la partícula. El tipo de precipitación se determina comparando la distribución de la velocidad de caída de una serie de partículas detectadas con las relaciones conocidas relativas a distintos tipos de precipitación líquida, mixta o sólida.

Por lo general, estos sensores también dan resultados aceptables para los tipos comunes de precipitación. Las tasas de detección, comparadas con las de los observadores, son similares a las de los sensores de dispersión (OMM, 2005a). También en este caso resulta difícil detectar el granizo y los tipos de precipitación mixta.

Radar Doppler

También se pueden utilizar radares Doppler específicos para determinar el tipo de precipitación. El haz emitido (verticalmente) por el radar es devuelto mediante retrodispersión por los hidrometeoros en caída. La velocidad de caída de las partículas se puede determinar sobre la base del desplazamiento Doppler de la señal devuelta por retrodispersión. Cerca del suelo, se trata de una velocidad final de caída y corresponde al tamaño de las partículas. Algunos instrumentos tienen un volumen de medición superior al sensor, otros determinan la velocidad de caída a diferentes altitudes por encima del sensor para establecer el tipo de precipitación. También se utilizan mediciones adicionales (por ejemplo, temperatura en superficie).

Hay varios tipos diferentes de radar Doppler disponibles para detectar el tipo de precipitación. No suelen ser sensibles a las partículas pequeñas, como todas las técnicas de detección basadas

² El umbral para la detección de la intensidad de la lluvia es de 0,02 mm h⁻¹ (véase el capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E)).

en radares. Algunos tipos muestran resultados similares a los de los sensores de dispersión frontal/retrodispersión y los disdrómetros, es decir, producen resultados aceptables para la lluvia y la nieve, pero no para la precipitación mixta. El granizo no se registra.

Detector de impactos

Este tipo de sensor consiste en un material piezoeléctrico capaz de detectar el impacto de los hidrometeoros. La diferencia entre el impacto del granizo y de la lluvia difiere lo suficiente para distinguir estos dos tipos de precipitación. No se registran otros tipos de precipitación.

Puesto que solo se puede registrar la lluvia y el granizo, este sensor no es un sensor de tiempo presente plenamente operativo. No obstante, la parte que detecta el granizo puede resultar útil para algunos usuarios, ya que este suele ser un punto débil en otros sensores de tiempo presente.

Detector acústico

El detector acústico detecta el sonido de la caída de hidrometeoros, lo cual guarda relación con el tipo de precipitación. El sensor se desarrolló para complementar el sensor de tiempo presente de dispersión frontal/retrodispersión, en particular para mejorar la detección de granizo y de hielo granulado.

Los resultados iniciales del sensor eran prometedores (Wade, 2003; Loeffler-Mang, 2009).

Otros métodos

También pueden utilizarse cámaras para vigilar el tipo de precipitación. En ese caso, un observador/operador puede controlar las distintas cámaras desde una instalación central. Deberá seleccionarse un fondo de contraste apropiado para observar la precipitación. Dado que este tipo de mediciones requiere la presencia de un observador/operador, no se trata de mediciones automáticas del tiempo presente/pasado.

Se está utilizando un sensor diseñado específicamente para detectar la lluvia engelante o el hielo liso (Starr y Van Cauwenberghe, 1991), que mide la cantidad de hielo acumulado en una sonda. La sonda vibra a una frecuencia proporcional a su masa. Cuando el hielo se forma en la sonda, cambia la masa de esta y disminuye la frecuencia de vibración. El sensor lleva un calentador para descongelar la sonda cuando sea necesario. Este dispositivo también resulta eficaz para detectar la nieve húmeda.

Los detectores de engelamiento pueden utilizarse para identificar la precipitación engelante, para lo cual existen diversos métodos. Por ejemplo, puede medirse el peso del hielo con una vara. Otro de los métodos utiliza una sonda de vibración ultrasónica, y la frecuencia de esta sonda varía cuando se forma hielo en ella. Recientemente, se ha llevado a cabo una prueba exhaustiva (Fikke y otros, 2007). Los resultados de los sensores de tiempo presente mejoran cuando se incluyen los datos de los detectores de engelamiento, en particular de la precipitación engelante (Sheppard y Joe, 2000). Los sistemas automatizados de observación meteorológica utilizan esta técnica.

14.2.1.3 Instrumentos y dispositivos de medición: intensidad y carácter de la precipitación

Los informes del tiempo presente comprenden una indicación de la intensidad y, por lo tanto, del carácter de la precipitación (a saber, chubasco, precipitación intermitente o precipitación continua), parámetros que, en muchos casos, también se miden mediante el mismo sensor que determina el tipo de precipitación. No obstante, es asimismo posible utilizar un sensor diferente para este fin. La medición de la intensidad también permite determinar la precipitación intermitente (por ejemplo, los chubascos de nieve). Recientemente se ha completado una intercomparación en laboratorio e *in situ* de las mediciones de la intensidad de la precipitación

(OMM, 2006a y 2009). Dicha intercomparación incluía numerosos instrumentos diferentes que utilizaban diversas técnicas de medición para recoger la precipitación. A continuación figuran los métodos de medición automática que indican la intensidad de la precipitación.

Sensor de tiempo presente de dispersión frontal/retrodispersión

El sensor se describe en la sección 14.2.1.2. La intensidad de la precipitación se calcula mediante la combinación de la distribución de las partículas por tamaño, el número de partículas y el tipo de precipitación. La intensidad de la precipitación determinada de esta forma suele ser menos exacta que cuando se utilizan métodos convencionales (por ejemplo, los pluviómetros de pesaje, los pluviómetros de cubeta basculante o de balancín, etc.). La calibración de la intensidad de la precipitación también plantea un problema. Para obtener una indicación aproximada de la intensidad de la precipitación (débil, fuerte, etc.), puede utilizarse este método. Los fabricantes están trabajando en la mejora de los resultados de la intensidad de la precipitación.

Disdrómetro óptico

Este tipo de sensor también se describe en la sección anterior (14.2.1.2). La intensidad de la precipitación se calcula mediante la combinación de la distribución de las partículas por tamaño, el número de partículas y el tipo de precipitación. Se está trabajando en la mejora de los resultados de la intensidad de la precipitación (véase, por ejemplo, OMM, 2006b).

Radar Doppler

Este sensor se describe en la sección 14.2.1.2. La intensidad de la precipitación se calcula mediante la combinación de la distribución de las partículas por tamaño, el número de partículas y el tipo de precipitación. Los resultados de la intensidad de la precipitación han mostrado correlaciones aceptables ($\rho = 0,9$) con los pluviómetros convencionales cuando se utilizan en intervalos de 30 minutos (véase Peters y otros, 2002).

Pluviómetro

Existen numerosos tipos diferentes de pluviómetros “convencionales”, que se basan en diversos métodos de medición y que se describen en el capítulo 6 de la parte I. Por lo general, se diseñan para medir la cantidad de precipitación, si bien también hay algunos instrumentos (más pequeños) especialmente diseñados para ofrecer (una indicación de) la intensidad de la precipitación. Los pluviómetros diseñados para medir la cantidad de precipitación suelen ser menos exactos en la notificación de la intensidad de la precipitación. Sin embargo, la indicación de la intensidad de la precipitación, que es necesaria para los informes de tiempo presente, suele ser satisfactoria. Asimismo, muchos fabricantes están mejorando estos instrumentos con respecto a la intensidad de la precipitación (OMM, 2006a y 2009).

14.2.1.4 Instrumentos y dispositivos de medición: enfoque multi-instrumental

A fin de determinar las características del tiempo presente y la cantidad de precipitación, los sistemas de observación utilizan una gran variedad de sensores junto con algoritmos. Este enfoque multi-instrumental limita las técnicas implicadas. Otras observaciones típicas también relacionadas son la medición de la precipitación, la visibilidad, la temperatura del aire, el punto de rocío y la altura de la base de las nubes. Los algoritmos se caracterizan por el filtrado (por ejemplo, precipitación líquida solo si la temperatura del aire es superior a 6 °C). La combinación de numerosos sensores para determinar el tiempo presente también se utiliza en los sistemas de meteorología viaria (véase también la sección 14.3).

14.2.2 **Transparencia atmosférica y partículas en suspensión**

14.2.2.1 **Objetos de observación**

En los informes que tienen en cuenta las condiciones atmosféricas imperantes durante la última hora, debería distinguirse la calima de la neblina o la niebla acuosa. En el caso de la calima, el aire está relativamente seco, mientras que con neblina o niebla acuosa hay generalmente muestras de humedad alta en forma de gotitas de agua o cencellada blanca depositadas sobre la hierba, las hojas, etc. Cuando la estación está dotada de instrumentos de medición, puede suponerse con bastante confianza que la oscuridad se debe a la calima si la humedad relativa es inferior a un cierto porcentaje (por ejemplo, un 80%) y si la visibilidad está comprendida entre ciertos valores límite (por ejemplo, más de 1 km en la horizontal y más de 2 km en la vertical). La neblina se registra con valores de humedad altos y una visibilidad de 1 km o más. En los informes sinópticos se considera que el término "niebla" se aplica a las nieblas acuosas o heladas, que generalmente reducen la visibilidad horizontal en la superficie de la Tierra a menos de 1 km. Cuando el término "niebla" aparezca en las claves de tiempo presente y tiempo pasado, se debería entender en este sentido. No obstante, en los resúmenes climatológicos, toda visibilidad inferior a 1 km se considera niebla.

La cencellada blanca se produce cuando las gotitas de agua de la niebla se solidifican y convierten en hielo al entrar en contacto con objetos sólidos, cuya superficie está a una temperatura por debajo del punto de congelación. Las claves de tiempo presente y tiempo pasado no distinguen los diferentes tipos de cencellada.

Las ventiscas baja o alta de nieve consisten en nieve levantada del suelo por el viento después que esta haya caído. En la clave de tiempo presente se diferencia la ventisca baja de nieve de la ventisca alta; la primera de ellas se refiere a la nieve levantada hasta una altura que no sobrepasa el nivel del ojo del observador.

Otros fenómenos meteorológicos que habrá que detectar son la gran extensión de polvo en suspensión en el aire; el polvo o la arena levantados por el viento; las tempestades de polvo o de arena, ocasionadas por un viento turbulento, que levantan grandes cantidades de polvo o arena hacia el aire y reducen considerablemente la visibilidad; los remolinos de polvo o arena y, ocasionalmente, las nubes de embudo.

El observador debería utilizar como medio auxiliar la publicación OMM (1975).

14.2.2.2 **Instrumentos y dispositivos de medición: características de la transparencia atmosférica y de las partículas en suspensión**

Una de las maneras de determinar las características de la transparencia atmosférica y de las partículas en suspensión consiste en efectuar el complejo procesamiento de los valores medidos, que pueden funcionar como predictores. Esta técnica exige el estudio de las magnitudes meteorológicas que acompañan la formación, la intensificación y la desaparición del fenómeno de oscurecimiento en la atmósfera, y también el establecimiento de las condiciones limitadoras. Los problemas que plantea la determinación de nieblas, neblinas, calimas, tormentas de nieve y tempestades de polvo se abordan en Goskomgidromet (1984) y en OMM (1985). El alcance visual meteorológico es el elemento indicador más importante. Entre las variables restantes, la velocidad del viento, la humedad, la temperatura y el punto de rocío han demostrado ser criterios importantes para la determinación.

Los instrumentos que miden la visibilidad pueden utilizarse para determinar el alcance visual meteorológico, conforme a lo establecido en el capítulo 9 de la parte I, en particular en la sección 9.3. No obstante, cabe señalar que para determinar la niebla, la neblina y la calima, el alcance de estos instrumentos puede limitarse a unos pocos kilómetros. A continuación se describen tres tipos de instrumentos de visibilidad utilizados para determinar la niebla, la calima y la neblina.

Transmisómetro

Los transmisómetros miden la atenuación de una fuente de luz a una distancia determinada. Normalmente, la luz de una lámpara de destellos se detecta a una distancia de entre 10 y 200 m. La visibilidad se calcula a partir de la atenuación de esta luz. Pueden utilizarse dos detectores a distancias diferentes (el denominado transmisómetro de doble base) para ampliar el alcance de detección. Los transmisómetros resultan especialmente apropiados para medir la visibilidad, y se utilizan ampliamente, sobre todo en los aeropuertos. En el caso de las visibilidades mayores, la incertidumbre de la medición aumenta a medida que lo hace la visibilidad (para más detalles, véase el capítulo 9 de la parte I). Tanto su instalación como su mantenimiento son relativamente costosos, ya que necesitan limpiezas con regularidad. Algunos transmisómetros pueden mantener su exactitud operativa durante un tiempo considerablemente más prolongado debido a la calibración y compensación automáticas de los efectos de la contaminación.

Sensor de dispersión frontal

El sensor se describe en la sección 14.2.1.2. Además del tipo de precipitación, este instrumento también puede medir la visibilidad. La cantidad de dispersión está relacionada con la atenuación óptica y se determina de forma empírica en el proceso de calibración mediante la comparación de los resultados con un transmisómetro. Los sensores de dispersión frontal también son apropiados para medir la visibilidad y se utilizan cada vez más. En comparación con el transmisómetro, el sensor de dispersión frontal puede utilizarse generalmente para un mayor alcance de visibilidad. Uno de los inconvenientes que presenta es que su calibración no es una tarea sencilla, y requiere atención. La instalación y el mantenimiento del instrumento son relativamente económicos, ya que no necesita que se lleven a cabo limpiezas tan frecuentes como en el caso de los transmisómetros. Ciertos sensores pueden ampliar aún más el intervalo entre limpiezas mediante la compensación automática del impacto óptico de la contaminación.

Lidar

También puede utilizarse un sistema relativamente pequeño de detección y localización por ondas luminosas (lidar) para establecer la visibilidad utilizada, a su vez, en la determinación de la niebla. Un diodo láser emite pulsos luminosos, y se mide la luz reflejada por las partículas de la niebla/calima (en caso de que estén presentes). La visibilidad se determina sobre la base de la intensidad de la luz reflejada y de su tiempo de vuelo. El alcance de la visibilidad medida por un lidar es limitado, pero para determinar la niebla, la calima, etc., no se necesita un gran alcance visual.

14.2.3 Otros fenómenos meteorológicos

14.2.3.1 Objetos de observación

El reconocimiento y la observación de las nubes de embudo revisten una importancia capital para la protección de la vida y los bienes.

Nube de embudo (tornado o tromba marina): fenómeno consistente en un remolino de viento, frecuentemente violento, que aparece como una nube en forma de columna o cono invertido (nube de embudo) por debajo de la base de un cumulonimbus. La nube puede extenderse hasta la superficie de la tierra, pero sin llegar necesariamente al suelo, en cuyo caso levantará agua, polvo, arena o residuos y se formará un "arbusto" alrededor de la boca del embudo. El diámetro puede variar desde unos pocos metros hasta varios centenares de metros. Las nubes de embudo se consideran bien desarrolladas cuando la columna de aire que gira violentamente toca la superficie del suelo o del agua. Una nube de embudo bien desarrollada se considera tornado cuando tiene lugar sobre el suelo, y tromba marina cuando se produce sobre el agua. En los tornados más violentos la velocidad del viento puede alcanzar hasta 150 m s^{-1} .

Remolino de polvo/arena (tolvanera): columna de aire que suele girar rápidamente sobre un suelo seco y polvoriento o arenoso transportando polvo y otros residuos ligeros levantados del suelo. Los remolinos de polvo o de arena tienen varios metros de diámetro. Normalmente en el plano vertical no se extienden por encima de 60 a 90 m (tolvaneras), pero en regiones desérticas muy cálidas los remolinos de polvo/arena bien desarrollados pueden alcanzar 600 m.

Turbonada: viento fuerte que comienza repentinamente, dura unos minutos y luego desaparece. A la turbonada se la asocia muchas veces con el paso de un frente frío. En esas circunstancias, se desarrolla a lo largo de una línea y, en el caso típico, va acompañada de un descenso de temperatura pronunciado, un cambio de la dirección del viento (en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur), un aumento de la humedad relativa y una nube en forma de rodillo con eje horizontal (turbonada en línea).

La definición de tormenta (véase OMM, 1992) es un ejemplo de cómo se puede obtener la descripción exclusivamente a partir de las percepciones de observadores humanos: el fenómeno debería considerarse tormenta cuando se oyen truenos (aunque no se vean relámpagos).

14.2.3.2 **Instrumentos y dispositivos de medición**

A menudo, se puede detectar la presencia de nubes de embudo o de tornados mediante radares meteorológicos (véase el capítulo 7 de la parte II). Los modernos radares meteorológicos Doppler resultan bastante eficaces para reconocer los mesociclones y proporcionan información más detallada y avanzada sobre este fenómeno meteorológico extremo que la obtenida únicamente por observación visual.

La turbonada se puede determinar a partir de la sucesión diferenciada de valores medidos de la velocidad del viento. Cuando los resultados de un dispositivo de medición de la velocidad del viento se combinan con los de un sensor de la dirección del viento, de un termómetro, o de un sensor de humedad, parece posible identificar una turbonada en línea.

La tormenta se detecta principalmente mediante contadores de relámpagos. Según las instrucciones proporcionadas a los observadores por diversos Servicios, se debe seleccionar una cantidad específica de relámpagos por intervalo de tiempo, que se puede utilizar en combinación con las intensidades de precipitación o las velocidades del viento para definir las tormentas débiles, moderadas o fuertes (véase el capítulo 6 de la parte II).

14.2.4 **Estado del cielo**

14.2.4.1 **Objetos de observación**

Las especificaciones del estado del cielo se utilizan para describir los cambios progresivos del estado del cielo ocurridos durante un tiempo determinado. Se hará lo mismo cuando se consideren los cambios ocurridos en la nubosidad total, la altura de la base de las nubes y el tipo de nubes.

14.2.4.2 **Instrumentos y dispositivos de medición**

Se puede conseguir una aproximación a las características de la nubosidad (nubosidad total expresada en octas, altura de la base de las nubes y nubosidad total en varias capas nubosas) a partir de la variación de la altura de la base de las nubes medida con un sistema de tipo óptico, y la aplicación de métodos estadísticos (véase también el capítulo 15 de la parte I). Es evidente que esto solo se puede hacer con las capas nubosas que se encuentran dentro de los límites de altura del sistema de medición de la base de las nubes (Persin, 1987; Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera, 1988; Conferencia internacional sobre experiencias con estaciones meteorológicas automáticas, 1999).

14.3 **OBSERVACIÓN DEL ESTADO DEL TERRENO**

14.3.1 **Objetos de observación**

El estado del terreno se refiere a la condición de la superficie como resultado de los fenómenos meteorológicos recientes, en términos de la cantidad de humedad o la descripción de partículas sólidas, o acuosas o no acuosas que cubren la superficie normal. La observación del estado del terreno (letras simbólicas E y E´) se debería efectuar conforme a las especificaciones dadas en OMM (2011).

Las notificaciones del estado del terreno también forman parte de las notificaciones del tiempo presente que, hasta hace poco, solo llevaban a cabo los observadores. La medición automática del estado del terreno sigue siendo relativamente nueva (por ejemplo, véase Stacheder y otros, 2008) y aún no se utiliza de forma generalizada. Algunos institutos meteorológicos están trabajando para normalizar la superficie o superficies que han de observarse.

14.3.2 **Instrumentos y dispositivos de medición**

Los estudios han demostrado que es posible determinar los estados principales del terreno mediante los fenómenos de reflexión y dispersión (seco, húmedo, mojado, cubierto de nieve, helado o con cencellada blanca) (Gaumet y otros, 1991). A continuación se describen brevemente los métodos utilizados.

Sensor de dispersión: estos sensores tienen un diseño óptico que utiliza las propiedades de reflexión y dispersión de la superficie; pueden utilizar diversas fuentes de luz. Por ejemplo, el flujo de una fuente de luz blanca reflejada desde una baldosa de referencia dependerá del estado de esa superficie. Otros sensores (de carretera) analizan el reflejo de una fuente de luz infrarroja sobre la superficie de la carretera. En este caso, la longitud de onda de la luz reflejada depende del estado de la superficie. No todos estos sensores son apropiados para fines meteorológicos, ya que pueden estar diseñados para superficies distintas de las superficies naturales. Actualmente se están mejorando los sensores.

Sensor capacitivo: actualmente se está desarrollando y probando un nuevo sensor capacitivo. Se coloca una malla conductora sobre la superficie (natural). Fundamentalmente, se trata de un condensador que utiliza el terreno natural como dieléctrico. La constante dieléctrica de la tierra seca difiere de forma considerable de la correspondiente a la tierra húmeda. Por lo tanto, la capacitancia depende de la humedad de la superficie, y el estado del terreno puede determinarse midiendo los valores absolutos y la fase de las señales emitidas en dos frecuencias. Los resultados iniciales de las pruebas parecen prometedores, pero este sensor aún se está desarrollando.

Conjunto de sensores: para determinar el estado de la superficie, especialmente en el caso de superficies de carreteras, puede utilizarse un conjunto de sensores. Por ejemplo, la detección óptica puede determinar la cubierta de la superficie; una medición de la conductividad puede determinar la presencia de sustancias químicas, la temperatura de la superficie y del terreno, etc. Todas estas mediciones, junto con los datos atmosféricos, pueden utilizarse para estimar las condiciones viarias. Sin embargo, el estado del terreno se define como el estado de la superficie natural presente, por lo que mediante este método no se determina el estado exacto del terreno, sino una propiedad relacionada.

Cámaras (y observador): las cámaras también se utilizan para determinar el estado del terreno. Pueden enfocar diversas superficies y un observador/operador determina el estado del terreno. Dado que este método de observación es fundamentalmente manual, no se analizará aquí.

14.4 **OBSERVACIÓN DE FENÓMENOS ESPECIALES**

14.4.1 **Fenómenos eléctricos**

Los electrometeoros corresponden a descargas eléctricas discontinuas (relámpago, trueno) o a fenómenos más o menos continuos (fuego de San Telmo, aurora polar). En OMM (1975) se ofrece una descripción completa de los electrometeoros.

Los registros especiales de relámpagos deberían incluir información sobre el tipo, la intensidad y la frecuencia de las descargas, y el intervalo acimutal en el que se observan; se debería consignar el lapso de tiempo transcurrido entre el relámpago y el trueno correspondiente. Habría que prestar atención para no confundir la descarga eléctrica correspondiente al relámpago con su reflexión en nubes o calima. Muchos países ya utilizan operativamente los sistemas de detección automáticos para ubicar los relámpagos. El capítulo 6 de la parte II contiene más información sobre este tema.

La excepcional aurora polar se debería describir con detalle. Si se dispone de filtros de luz, se podrán utilizar para aumentar la sensibilidad de las observaciones, y también se emplearán teodolitos o clinómetros (con alidada) para incrementar la exactitud de las mediciones angulares.

14.4.2 **Fenómenos ópticos (fotometeoros)**

Un fotometeoro es un fenómeno luminoso producido en la atmósfera por reflexión, refracción, difracción o interferencia de la luz procedente del Sol o de la Luna. Los fotometeoros pueden observarse en el aire más o menos claro (espejismo, trepidación óptica, centelleo, rayo verde, colores crepusculares), sobre las nubes o en su interior (fenómenos de halo, corona, irisaciones, corona de Ulloa), y sobre ciertos hidrometeoros o litometeoros o en su interior (corona de Ulloa, arcoíris, arco de la niebla, anillo de Bishop, rayos crepusculares).

Los observadores deberían anotar cuidadosamente cualquier fenómeno óptico que aparezca. Cuando sea posible, se deberían adjuntar dibujos o fotografías a la descripción textual. En OMM (1975) figuran las descripciones completas de estos fenómenos. En algunos manuales para observadores, por ejemplo en Oficina Meteorológica de Reino Unido (1982), se dan instrucciones concisas para la observación de los fenómenos más comunes.

El teodolito es un instrumento muy adecuado para realizar mediciones precisas. No obstante, si no se cuenta con uno, bastará con un trozo de madera graduado, que se sostendrá a la altura del brazo extendido; con la presencia de falso sol se puede determinar su posición relacionándolo con puntos de referencia fijos. Es posible calcular el diámetro de una corona si se considera que el diámetro angular del Sol o de la Luna es, aproximadamente, de medio grado.

ANEXO. CRITERIOS PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN DÉBIL, MODERADA O FUERTE¹

(Definición de precipitación débil, moderada y fuerte con respecto al tipo y la intensidad de la precipitación, *i*)^a

<i>Variable</i>	<i>Rango</i>	<i>Intensidad</i>
Llovizna	$i < 0,1 \text{ mm h}^{-1}$ $0,1 \leq i < 0,5 \text{ mm h}^{-1}$ $i \geq 0,5 \text{ mm h}^{-1}$	Débil Moderada Fuerte
Lluvia (también chubascos)	$i < 2,5 \text{ mm h}^{-1}$ $2,5 \leq i < 10,0 \text{ mm h}^{-1}$ $10,0 \leq i < 50,0 \text{ mm h}^{-1}$ $i \geq 50,0 \text{ mm h}^{-1}$	Débil Moderada Fuerte Violenta ^b
Nieve (también chubascos)	$i < 1,0 \text{ mm h}^{-1}$ (equivalente en agua) $1,0 \leq i < 5,0 \text{ mm h}^{-1}$ (equivalente en agua) $i \geq 5,0 \text{ mm h}^{-1}$ (equivalente en agua)	Débil Moderada Fuerte

Notas:

a Valores de la intensidad basados en un período de mediciones de 3 minutos.

b La expresión "violenta", en relación con las cantidades de precipitación, no es compatible con las demás categorías y resulta confusa. Tal vez sería más apropiado utilizar una expresión como "intensa" o "extrema".

Precipitación mixta de lluvia y nieve

Los mismos criterios que los aplicables a la nieve (dado que la relación lluvia-nieve no está sujeta a ninguna medición, debería seleccionarse una opción fácil).

Granizo: los mismos criterios que los aplicables a la lluvia.

Hielo granulado y nieve granulada: los mismos criterios que los aplicables a la nieve.

Fenómenos de congelación: los mismos criterios que los aplicables a los fenómenos que no son de congelación.

Guía para calcular la intensidad aproximada de la nieve

Débil: copos pequeños y dispersos; en ausencia de otros fenómenos de oscurecimiento, por lo general, la nieve de esta intensidad reduce la visibilidad, pero no a menos de 1 000 m.

Moderada: copos más grandes y numerosos, que generalmente reducen la visibilidad a entre 400 y 1 000 m.

Fuerte: copos numerosos de todos los tamaños, que generalmente reducen la visibilidad a menos de 400 m.

Chubascos o precipitación intermitente

Los sistemas automatizados deberían registrar los chubascos o la precipitación intermitente. Por esta última se entiende la ausencia de precipitaciones dentro de los 10 minutos siguientes a dos

¹ Recomendación de la Reunión de expertos de la OMM sobre automatización de observaciones visuales y subjetivas (Trappes/París, Francia, 14 a 16 de mayo de 1997) y del Grupo de trabajo sobre mediciones en superficie (Ginebra, Suiza, 27 a 31 de agosto de 2001).

precipitaciones consecutivas, es decir, si se da un período de 10 minutos sin precipitaciones en un período medio continuo de 10 minutos de precipitaciones durante la última hora, debería notificarse como precipitación intermitente.

Representatividad de los fenómenos de tiempo presente

Un fenómeno de tiempo presente puede definirse de forma apropiada utilizando un período de observación de 3 minutos. El promedio más alto de 3 minutos consecutivos en un período de 10 minutos debería notificarse respecto del tiempo presente.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de Estados Unidos, 1988: *Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems Used for Aviation Purposes*. Oficina de Coordinación Federal de los Servicios Meteorológicos y del Apoyo a la Investigación, Departamento de Comercio de Estados Unidos, FCM-S5-1988, Washington, D. C.
- Bespalov, S. M. y otros, 1983: *Osnovnyje voprosy razrabotki setevoj avtomaticeskoj gidrometeorologiceskoj stancii* (Principales aspectos del diseño de una red de estaciones hidrometeorológicas automáticas). Trudy GGO, Gidrometeoizdat, Leningrado, vol. 473, págs. 3 a 12.
- Bloemink, H. I., 2004: *Precipitation type detection, Present Weather Sensor: Final Report*. KNMI TR259, De Bilt.
- Conferencia internacional sobre experiencias con estaciones meteorológicas automáticas, 1999: *Second International Conference on Experiences with Automatic Weather Stations* (Viena, 27 a 29 de septiembre). Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, núm. 20 (disponible en CD-ROM), ZAMG, Viena (Austria).
- De Haij, M. J., 2007: *Automated discrimination of precipitation type using the FD12P present weather sensor: evaluation and opportunities*. KNMI TR297, De Bilt.
- Fikke, S., G. Ronsten, A. Heimo, S. Kunz, M. Ostrozlik, P. E. Persson, J. Sabata, B. Wareing, B. Wichura, J. Chum, T. Laakso, K. Sääntti y L. Makkonen, 2007: *COST-727: Atmospheric Icing on Structures: Measurements and data collection on icing: State of the Art*. MeteoSwiss, núm. 75.
- Gaumet, J. L., P. Salomon y R. Paillisse, 1991: "Automatic observations of the state of the soil for meteorological applications", en *Preprints of the Seventh Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation: Special Sessions on Laser Atmospheric Studies*. Sociedad Meteorológica de Estados Unidos (Nueva Orleans, 14 a 18 de enero de 1991), págs. J191 a J193.
- Goskomgidromet, 1984: *Opredelenije atmosferych javlenij po dannym avtomaticeskich stancij, soveqanije grupy ekspertov GMS/MS socialisticskich stran po teme 9.1. KR GMS/MS* (Identificación de fenómenos atmosféricos a partir de datos de estaciones meteorológicas automáticas: reunión del equipo de expertos de los Servicios Hidrometeorológicos y de los Servicios Meteorológicos de los países socialistas sobre el tema 9.1). Obninsk, 24 a 28 de agosto de 1984, Moscú.
- Loeffler-Mang, M., 2009: *HARE – A New Intelligent Hail Recorder for Networks and Field Campaigns*. Quinta Conferencia europea sobre tormentas violentas, 12 a 16 de octubre, Landshut (Alemania) (disponible en: <http://www.essl.org/ECSS/2009/preprints/P09-06-loefflermang.pdf>).
- Organización Meteorológica Mundial, 1975: *Atlas Internacional de Nubes: Manual de observación de nubes y otros meteoros* (OMM-N° 407), volumen I. Ginebra.
- , 1985: "Algorithms for automatic coding of the present and past weather by unmanned meteorological stations" (M. Mezösi, A. Simon, P. Hanák y O. Szenn), en *Papers Presented at the Third WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO-III)* (Ottawa, 8–12 July 1985). Instruments and Observing Methods Report No. 22 (WMO/TD-No. 50). Ginebra.
- , 1992: *Vocabulario Meteorológico Internacional* (OMM-N° 182). Ginebra.
- , 1994: "A comparison of two present weather systems with human observations" (J. P. van der Meulen), en *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94)*. Instruments and Observing Methods Report No. 57 (WMO/TD-No. 588). Ginebra.
- , 1998: *WMO Intercomparison of Present Weather Sensors/Systems: Final Report* (Canada and France, 1993–1995) (M. Leroy, C. Bellevaux and J.P. Jacob). Instruments and Observing Methods Report No. 73 (WMO/TD-No. 887). Ginebra.
- , 2002: "Improvements to automated present weather reporting in the Met Office" (S. G. McRobbie, M. J. Molyneux y P. D. Shearn), en *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002)*. Instruments and Observing Methods Report No. 75 (WMO/TD-No. 1123). Ginebra.
- , 2005a: "Precipitation type from the Thies disdrometer" (H. I. Bloemink y E. Lanzinger), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2005)*. Instruments and Observing Methods Report No. 82 (WMO/TD-No. 1265). Ginebra.
- , 2005b: "Piezoelectric precipitation sensor from Vaisala" (A. Salmi y J. Ikonen), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2005)*. Instruments and Observing Methods Report No. 82 (WMO/TD-No. 1265). Ginebra.

- , 2006a: *WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges* (France, Italy, The Netherlands, 2004-2005) (L.G. Lanza, M. Leroy, C. Alexandropoulos, L. Stagi and W. Wauben). Instruments and Observing Methods Report No. 84 (WMO/TD-No. 1304). Ginebra.
- , 2006b: "Rainfall amount and intensity measured by the Thies laser precipitation monitor" (E. Lanzinger, M. Theel y H. Windolph), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*. Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Ginebra.
- , 2008: "Results from UK Met Office investigations into new technology present weather sensors" (D. Lyth), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2008)*. Instruments and Observing Methods Report No. 96 (WMO/TD-No. 1462). Ginebra.
- , 2009: *WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges* (Italia, 2007-2009) (E. Vuerich, C. Monesi, L.G. Lanza, L. Stagi and E. Lanzinger). Instruments and Observing Methods Report No. 99 (WMO/TD-No. 1504). Ginebra.
- , 2010: "Investigations into the improvement of automated precipitation type observations at KNMI" (M. de Haij y W. Wauben), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2010)*. Instruments and Observing Methods Report No. 104. (WMO/TD-No. 1546). Ginebra.
- , 2011: *Manual de claves* (OMM-N° 306), volumen I. Ginebra.
- Persin, S. M., 1987: *Izmerrenije vysoty niznej granicy oblakov i karakteristika oblacnosti kak zadaca paspoznavanija obrazov* (Medición del techo de nubes y caracterización de la nubosidad como parte de la identificación de imágenes). Trudy GGO, Gidrometeoizdat, Leningrado, vol. 512, págs. 49 a 91.
- Peters, G., B. Fischer y T. Andersson, 2002: "Rain observations with a vertically looking Micro Rain Radar (MRR)", en *Boreal Environmental Research*, vol. 7, págs. 353 a 362.
- Oficina Meteorológica de Reino Unido, 1982: *Observer's Handbook*. Oficina de Publicaciones de Su Majestad, Londres.
- Sheppard, B. E. y P. I. Joe, 2000: "Automated precipitation detection and typing in winter: a two-year study", en *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 17, núm. 11, págs. 1493 a 1507.
- Stacheder, M., F. Koeniger, R. Schuhmann, A. Brandelik, G. Schmitt, W. Sommer y R. Fiel, 2008: "A new sensor for the automatic detection of the state of the ground", en *Near Surface Geophysics*, vol. 6, núm. 1, págs. 67 a 70.
- Starr, K. M. y R. van Cauwenberghe, 1991: "The development of a freezing rain sensor for automated surface observing systems", en *Preprints of the Seventh Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation: Special Sessions on Laser Atmospheric Studies*. Sociedad Meteorológica de Estados Unidos (Nueva Orleans, 13 a 18 de enero de 1991), págs. 338 a 343.
- Van der Meulen, J. P., 2003: *Present Weather – Science: Exploratory Actions on Automatic Present Weather Observations*. Informe final, E-PWS-SCI, Instituto Real de Meteorología de los Países Bajos, De Bilt (Países Bajos), EUMETNET (disponible en: http://www.knmi.nl/samenw/geoss/eumetnet/E-PWS-Sci/report/PWS-SCI_final_report.pdf).
- Wade, C. G., 2003: "Detecting ice pellets, snow pellets and hail on ASOS using an acoustic sensor", en *Twelfth AMS Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*. Long Beach, California (Estados Unidos de América), 8 a 13 de febrero de 2003.
- Wauben, W., 2002: "Automation of visual observations at KNMI; (I) Comparison of present weather", en *Papers presented at the Symposium on Observations, Data Assimilation, and Probabilistic Prediction*. Orlando, Florida, 13 a 17 de enero de 2002, Sociedad Meteorológica de Estados Unidos
-