¿SE MIDE BIEN LA PRECIPITACIÓN EN FORMA DE NIEVE?

Samuel T. BUISÁN SANZ, José Luis COLLADO ACEITUNO
y Javier ALASTRUÉ TIERRA
Delegación Territorial de AEMET en Aragón

*RESUMEN: Debido al impacto que tiene sobre los recursos hídricos, sobre las tendencias climáticas, la predicción y la vigilancia atmosférica y sobre nuestra vida cotidiana (en los transportes, en la economía o en las actividades de ocio y tiempo libre), se requiere una medición precisa de la precipitación, especialmente en forma de nieve. Es de sobra conocida la subestimación que se produce en la medida de la precipitación en forma de nieve debido al efecto del viento sobre el pluviómetro. AEMET instaló en su centro de experimentación en Formigal-Sarrios (Pirineo de Huesca), a 1800 m de altitud y dentro del marco de trabajo del proyecto SPICE (*Solid Precipitation Intercomparison Experiment; *en español, Experimento de intercomparación de la precipitación sólida) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) el sistema más preciso existente actualmente para la medida de la precipitación en forma de nieve. Este sistema denominado por la OMM como DFIR (*Double Fence Intercomparison Reference; en español, *referencia de intercomparación de doble cerca*) *es único en los Pirineos y en España y solo ciertos países en el mundo lo tienen. Esta infraestructura es patrón internacional de referencia con el que poder intercomparar cualquier tipo de instrumento de observación meteorológico que mida precipitación, entre ellos pluviómetros o sensores de tiempo presente, ampliamente utilizados en AEMET.*

Palabras clave: OMM, nevadas, SPICE, pluviómetro, viento, Formigal-Sarrios.

1. WMO-SPICE

La precipitación es una de las variables atmosféricas más importantes dentro de numerosas disciplinas científicas relacionadas con los ecosistemas, la hidrología, la predicción atmosférica y la monitorización del clima. Sin embargo, a pesar de su importancia, la medida precisa de la precipitación sigue siendo un reto, especialmente en el caso de precipitación en forma de nieve en condiciones de viento.

Todos los pluviómetros, conforme aumenta la velocidad del viento, subestiman la medida de la precipitación en forma de nieve. Un pluviómetro representa un obstáculo al flujo de aire lo que induce una deformación del campo de viento sobre la boca del pluviómetro provocando que el copo de nieve sea desviado e impidiendo que entre en el pluviómetro (Rasmussen y otros, 2012). Este efecto, que se incrementa con la velocidad del viento, es dependiente tanto de la forma del pluviómetro como del tipo de protección contra el viento empleada (figura 1).

Una manera de mitigar este problema es utilizar diferentes protecciones contra el viento (escudos), sin embargo, aún permanece cierta subestimación y es necesario realizar ajustes respecto de una referencia (figura 2).

La OMM definió durante la primera Intercomparación de la medición de precipitación sólida (Goodison y otros, 1998) el DFIR *(Double Fence Intercomparison Reference*; en español, referencia de intercomparación de doble cerca) (figura 2c) como referencia de precipitación. El DFIR consiste en dos vallados concéntricos octogonales de 12 m y 4 m de diámetro respectivamente con un pluviómetro manual de tipo Tretyakov y su escudo en el centro con su boca situada a 3,5 m de altura.

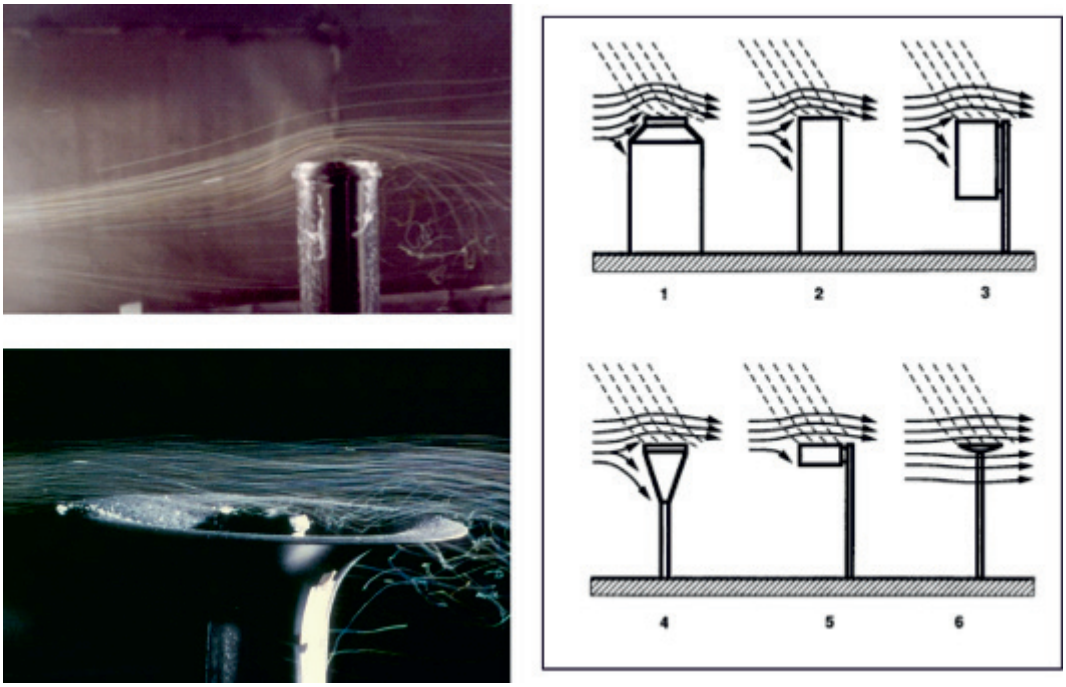

Figura 1. Deformación del campo de viento alrededor de distintos tipos de pluviómetros y protecciones contra el viento. (Imágenes cortesía de Barry Goodison y Rodica Nitu, Environment Canada).

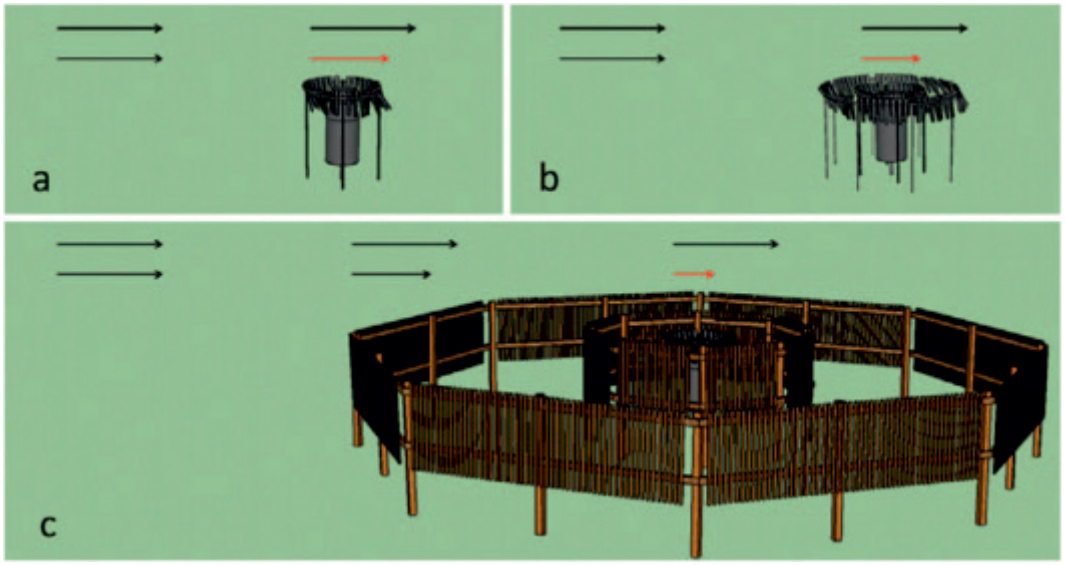

Figura 2. Flujo de aire sobre tres pluviómetros con diferentes tipos de protección contra el viento: a) escudo simple, b) escudo doble y c) DFIR. Los vectores superiores representan el viento sin obstáculos y los vectores en rojo representan el viento medido en la boca del pluviómetro. (Imagen cortesía de Roy Rasmussen, National Center for Atmospheric Research, NCAR).

Debido al proceso de automatización de medidas en numerosos servicios meteorológicos, el tipo y cantidad de instrumentos automáticos de medida de la precipitación se ha incrementado en las últimas décadas (Nitu y Wong, 2010) haciendo mucho más compleja la tarea de intercomparar series de precipitación de diferentes países. Por esta razón la OMM puso en marcha una segunda intercomparación, WMO-SPICE (www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/intercomparisons/SPICE/ SPICE.html) enfocada a medidas automáticas de la nieve (figura 3). En esta segunda intercomparación, la referencia se denomina *Double Fence Automatic Reference* (DFAR) y consiste en un pluviómetro ubicado en el centro del doble vallado, automático, de pesada (OTT Pluvio^2 o Geonor T200-B3) rodeado por un escudo de tipo simple y junto con un sensor de tipo de precipitación. Un ejemplo de esta configuración puede verse en el campo de experimentación de Haukeliseter en Noruega (figura 4).

En enero de 2019 la OMM presentó el informe oficial (figura 5) de más de 1000 páginas del proyecto SPICE (Nitu y otros, 2019) que representa una guía de consulta para instituciones de investigación y organismos operativos sobre medida de la nieve. Sus principales secciones tratan sobre:

— funciones de transferencia entre pluviómetros de pesada y la referencia de precipitación (véase también Kochendorfer y otros, 2017);

— análisis del comportamiento de pluviómetros de balancín y sus retrasos en la fusión de la nieve;

— algoritmos de filtrado de medida de la precipitación;

— diferentes tecnologías en la medida de la nieve sobre el suelo;

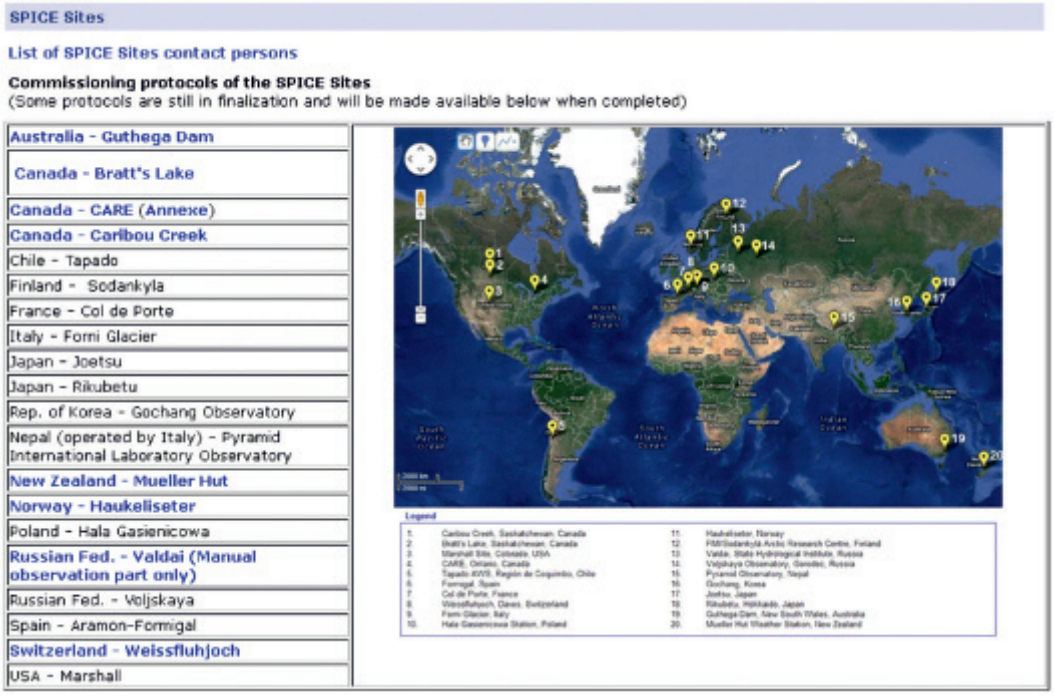

Figura 3. Países participantes en el proyecto SPICE.

— problemas de acreción de la nieve sobre los instrumentos y energía necesaria para evitarla;

— análisis del comportamiento de instrumentos de no captura en la medida de la nieve.

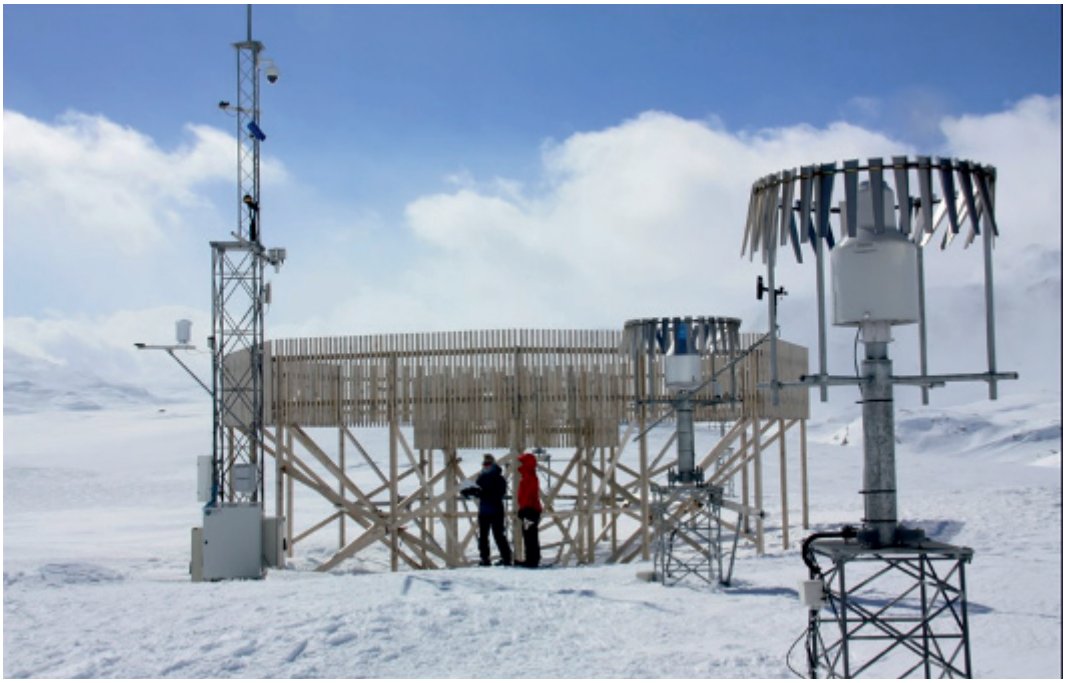

Figura 4. Campo de experimentación en Haukeliseter (Noruega). Se observa la referencia de precipitación DFAR al fondo.

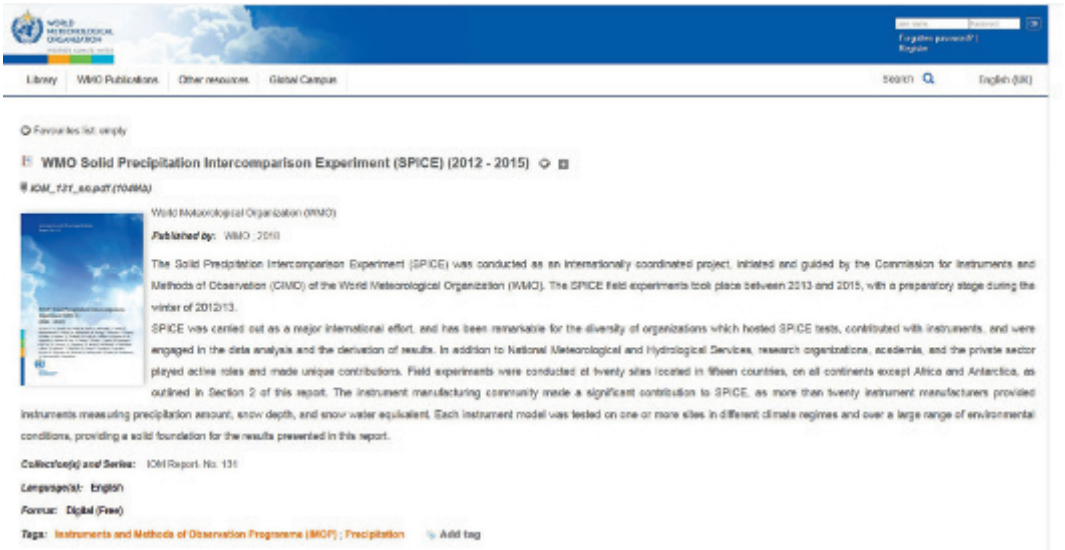

Figura 5. Informe final del proyecto SPICE.

2. CENTRO DE EXPERIMENTACIÓN DE AEMET EN FORMIGAL-SARRIOS

AEMET ha participado en WMO-SPICE gracias al campo de pruebas de Formigal-Sarrios, ubicado a 1800 m de altitud en el Pirineo aragonés, donde se instaló el único DFAR de España y de los Pirineos siendo además uno de los pocos que existen en el mundo (figuras 6 y 7). Gracias al elevado número de eventos de nieve, AEMET ha podido contribuir en el proyecto con una elevada cantidad de datos para su posterior análisis.

Gracias al proyecto SPICE se creó una infraestructura preliminar que ha derivado en un campo de experimentación único en AEMET y en los Pirineos donde actualmente se llevan a cabo numerosos experimentos relacionados con instrumentación y observación automática de la nieve dentro de AEMET o en colaboración con otras instituciones a nivel nacional o internacional tales como:

— estudio del equivalente del agua en el manto nivoso con la Confederación Hidrográfica del Ebro y la Universidad de Zaragoza;

— análisis de distintos pluviómetros e instrumentos para redes operativas;

— impacto de la presencia de nieve sobre la radiación ultravioleta;

— análisis de la medida de disdrómetros con el CSIC y MeteoSwiss;

Figura 6. Vista parcial de Formigal-Sarrios con la referencia DFAR al fondo y tareas de mantenimiento in situ.

Figura 7. Interior del DFAR con OTT Pluvio² de pesada y disdrómetro tipo LPM de Thies.

— intercomparación de instrumentos de no captura con la OMM;

— punto de referencia de la OMM en el programa de Vigilancia Global de la Criosfera;

— estudio del impacto de la presencia de polvo sobre la nieve;

— zona de ensayo de instrumentos para posterior instalación en las bases antárticas de AEMET.

3. SUBESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN FORMA DE NIEVE EN LA RED OPERATIVA DE AEMET

Entre muchos de los resultados obtenidos destaca la comparativa entre el pluviómetro automático de balancín (TPB, *tipping bucket*) con calefacción más utilizado en la red operativa de AEMET y el patrón de referencia del DFAR por las repercusiones que puede tener sobre su operatividad diaria y del que se mostrarán los principales resultados basados en la publicación de Buisán y otros, 2017.

Durante el invierno 2014-2015 se instaló el patrón de referencia DFAR. La temporada invernal 2014-2015 se caracterizó por un gran número de nevadas, con lo cual se tuvieron suficientes datos para el análisis. Los datos se recogieron en periodos de 1 minuto para posteriormente agruparse en periodos de 1 y 3 horas. La razón fue el diferente método de medida, instantáneo en el caso del DFAR y con necesidad de fundir la nieve en el caso del balancín y, por tanto, con retraso.

El sensor de tipo de precipitación (disdrómetro) muestra que a temperaturas inferiores a 0 °C prácticamente toda la precipitación es en forma de nieve (95 %) (figura 8).

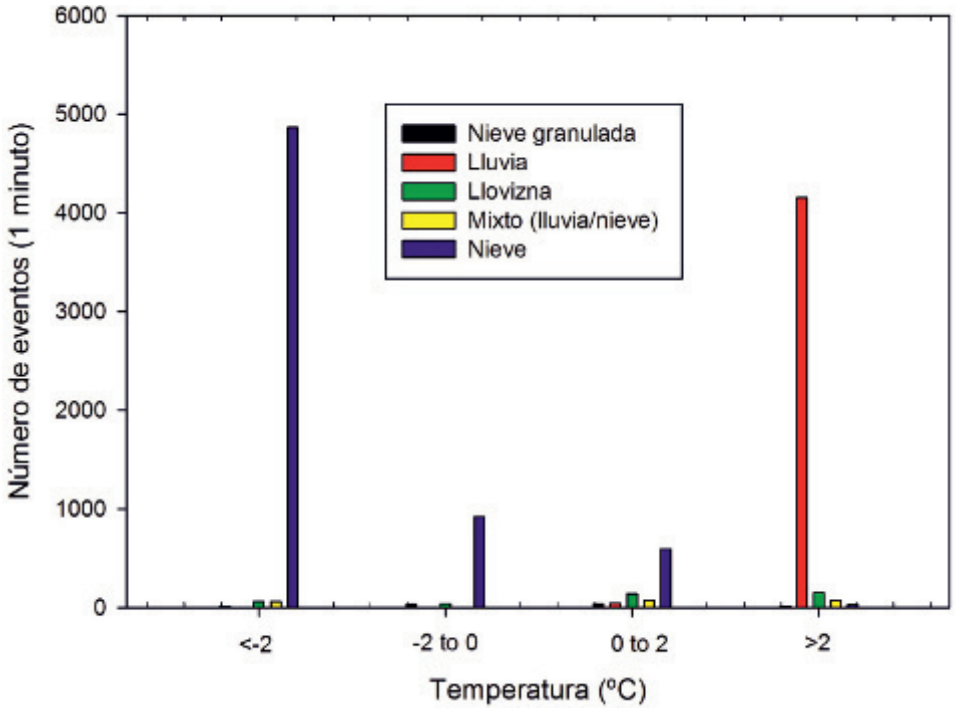

Figura 8. Distribución de frecuencias de tipos de precipitación agrupadas por temperatura según datos del disdrómetro en DFAR.

De esta manera se consideró apropiado el umbral de 0 °C para discriminar episodios de nieve y se calculó la precipitación acumulada en periodos de 1 hora y 3 horas para el DFAR y TPB.

La figura 9 muestra la relación entre la tasa de captura y el viento a una altura de 10 metros en periodos de 1 hora. A velocidades menores de 2 m/s el promedio de tasa de captura está entre 0,7 y 0,8. A velocidades mayores, la tasa de captura se reduce apreciablemente, alcanzando valores menores de 0,2 a velocidades superiores a 6 m/s. La reducción en la tasa de captura es mayor para eventos con bajas temperaturas que a temperaturas cercanas a 0 °C.

Dada la relación no lineal entre la tasa de captura y la velocidad del viento, y siguiendo un procedimiento similar al de otros estudios (Goodison y otros, 1998; Rasmussen y otros, 2012; Theriault y otros, 2012; Wolff y otros, 2015 y Kochendorfer y otros, 2017) se realizó un ajuste exponencial con los datos de nieve. La velocidad del viento es capaz de explicar más del 50 % de la varianza. Sin embargo, tal y como se muestra en la figura 9, a temperaturas menores de –4 °C y velocidades del viento mayores de 4 m/s un ajuste más preciso es necesario y se incluyó también la temperatura en el análisis realizando un análisis de regresión múltiple (tabla1). Finalmente para el cálculo real de la precipitación se incluyó el factor de fusión que tiene en cuenta los retrasos promedio en periodos de 1 hora. Esta simple ecuación se puede utilizar para mejorar la estimación de la precipitación en forma de nieve medida por el pluviómetro operativo de AEMET. Es muy importante tener en cuenta que el error asociado con el factor de fusión es menor del 10 %, siendo otros factores como el viento y la temperatura una fuente mayor de errores en la medida.

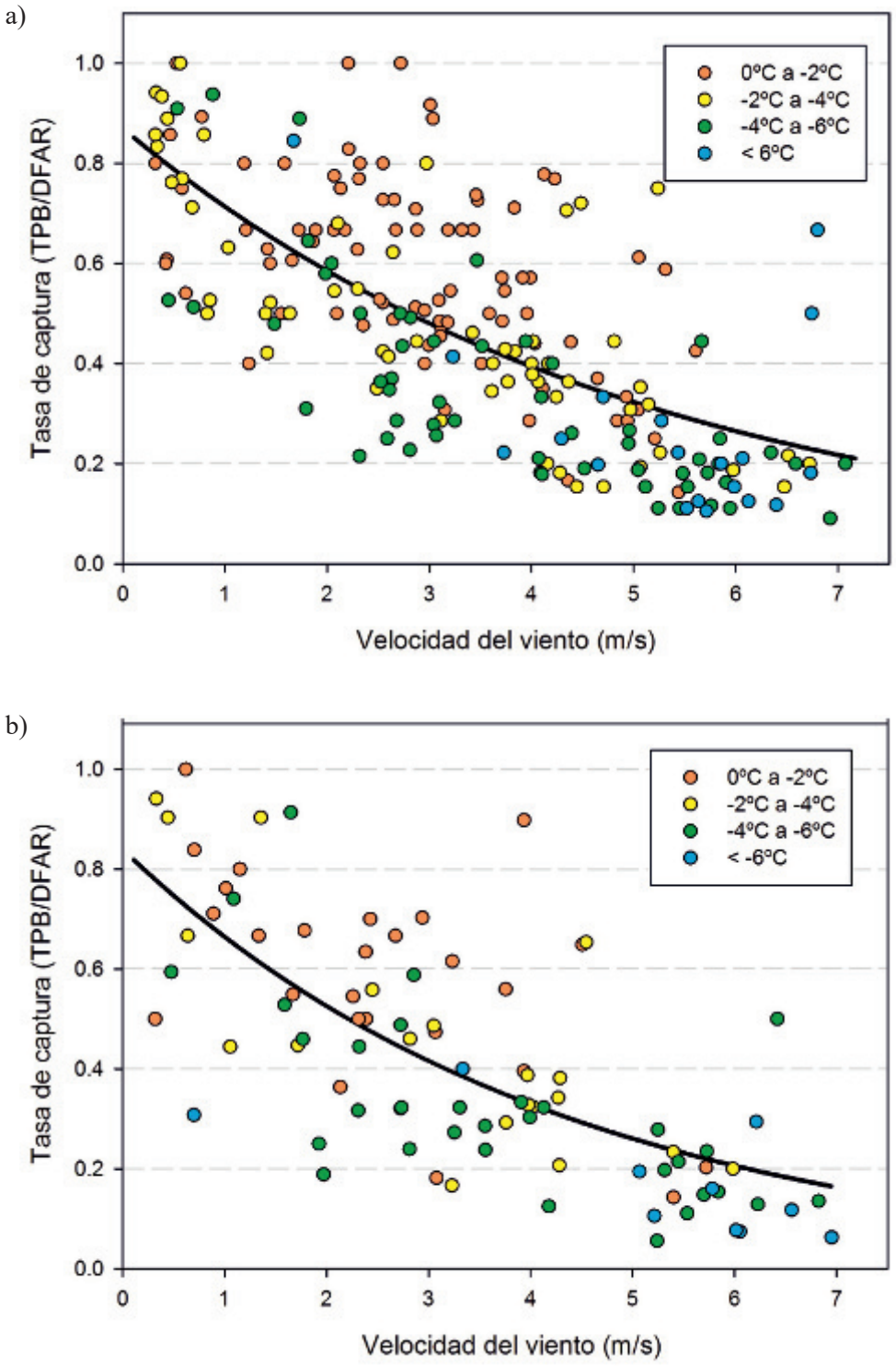

Figura 9. Relación entre la tasa de captura (TPB/DFAR) y velocidad del viento para periodos de a) 1 hora y b) 3 horas. La temperatura media para cada periodo se indica por distintos colores.

1 h Función de ajuste
CR = 1,0*exp(0,077*T – 0,176*W)
Acumulación (1 h) = Acc/CR – 0,095*Acc/CR + 0,095*Acc (hora previa)

3 h Función de ajuste
CR = 1,0*exp(0,094*T – 0,201*W)
Acumulación (3 h) = Acc/CR

Tabla 1. La tabla superior es para periodos de 1 hora y la inferior para periodos de 3 horas. El número de datos utilizados en el análisis fueron 214 y 87 respectivamente. Variables: CR = catch ratio *(tasa de captura), T = temperatura (en °C), W = velocidad del viento (en m/s), Acc = acumulación (en mm).*

Siguiendo la misma metodología, se tuvieron en cuenta periodos de 3 horas y solo se incluyeron eventos con temperatura máxima durante todo el periodo menor de 0 °C. Tal y como era esperado el número de datos se redujo de 214 a 87. El principal objetivo era averiguar si se obtenía una relación completamente distinta. Sin embargo, como se muestra en la figura 9b, las relaciones son similares. Además, como se aprecia en la tabla 1, las ecuaciones de ajuste son similares. En este caso, no es necesario incluir ningún factor de fusión pues la cantidad que se funde en el siguiente periodo es muy pequeña en comparación con la medida.

4. EJEMPLOS DE APLICACIONES

Resultados preliminares en estaciones y eventos escogidos en las últimas temporadas invernales indican que este ajuste proporciona medidas mucho más reales de la precipitación observada y que, por tanto, pueden ser de gran utilidad. A continuación se dan algunos ejemplos.

Si se utiliza la función de transferencia desarrollada para un conjunto de datos independientes como son los recientes de la temporada 2018-2019 en Formigal-Sarrios (figura 10), se observa que el ajuste se aproxima mucho mejor a la realidad observada por la referencia (DFAR) pasando de una subestimación del 30 % que representaba una cantidad subestimada de 250 mm respecto a una subestimación utilizando la función de transferencia de solo un 5 % (50 mm). Hay que reseñar que se consideran solo casos con temperaturas inferiores a 0 °C, siendo por tanto muy restrictivos pues a temperaturas superiores a aquella se observan numerosos eventos de nieve y que de aplicarse la función de ajuste producirían incluso un mejor resultado.

La figura 11 muestra el climograma de febrero de la estación de Lalastra (Álava) donde se observa el alto grado de subestimación de la precipitación durante principios de febrero de 2015 y que es acorde con las nevadas observadas en la zona durante el extremo episodio que tuvo lugar en esas fechas. Este ajuste permitiría inferir, por ejemplo, el volumen de agua disponible para previsión de inundaciones o estimar en semitiempo real lo extremo del evento y activar los avisos correspondientes.

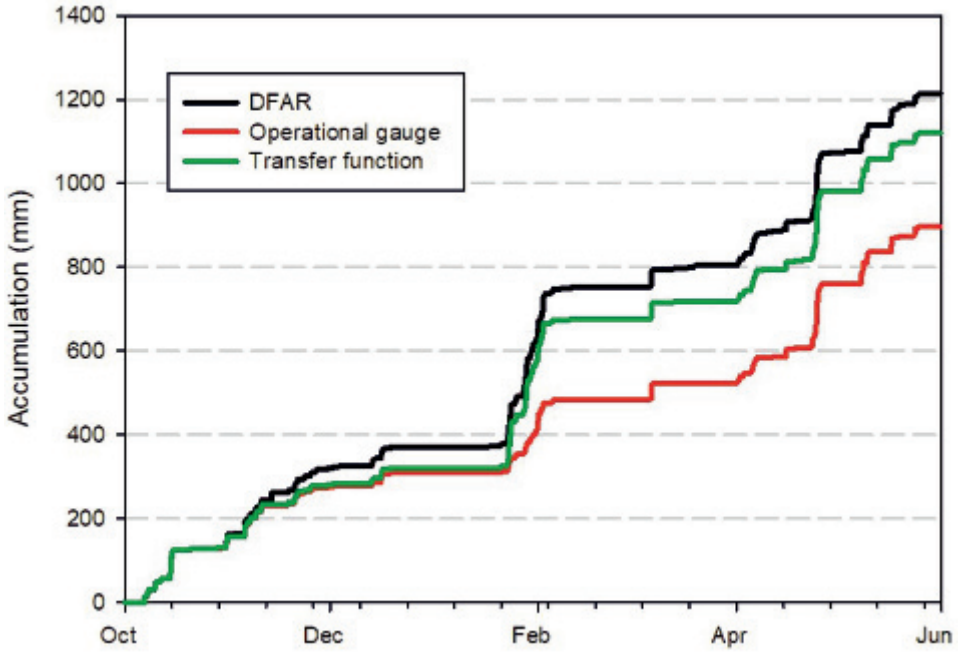

Figura 10. Precipitación acumulada para la temporada invernal 2018-2019 en DFAR, pluviómetro operativo de AEMET, y tras realizar el ajuste.

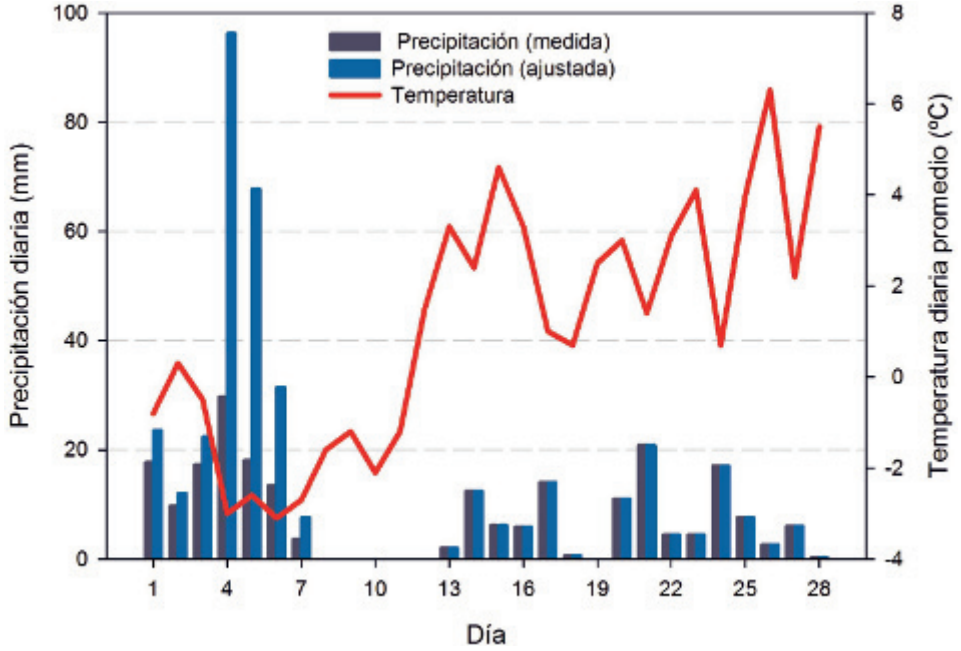

Figura 11. Precipitación diaria acumulada y ajustada para febrero de 2015 en la estación automática de AEMET en Lalastra (Álava) a 910 m de altitud.

El siguiente ejemplo muestra el ajuste horario realizado sobre los datos de la estación de Mosqueruela (Teruel) a 1540 m durante un fuerte episodio de nieve con espesores de nieve reciente superiores a 50 cm (figura 12).

Figura 12. Calles nevadas en Mosqueruela (Teruel), (fuente: internet).

El pluviómetro midió menos de 20 mm, algo imposible dada la magnitud de la nevada, sin embargo si se aplica la función de transferencia (figura 13) se obtiene un valor cercano a 50 mm, mucho más aproximado a la realidad observada.

Si se aplica esta función de transferencia a la red de estaciones de AEMET en el norte de España que utilizan el mismo tipo de pluviómetro y con un número considerable de nevadas durante el periodo de disponibilidad de datos (2009-2015) se pueden delimitar distintas zonas donde se subestima más la precipitación en forma de nieve (figura 14).

Existen claramente dos zonas diferenciadas: la zona cantábrica y Pirineos donde las estaciones están ubicadas en las poblaciones que habitualmente se ubican en los fondos de valle, y las zonas elevadas de la meseta donde las poblaciones se encuentran habitualmente más expuestas al viento y por tanto se subestima más la precipitación durante eventos de nevadas.

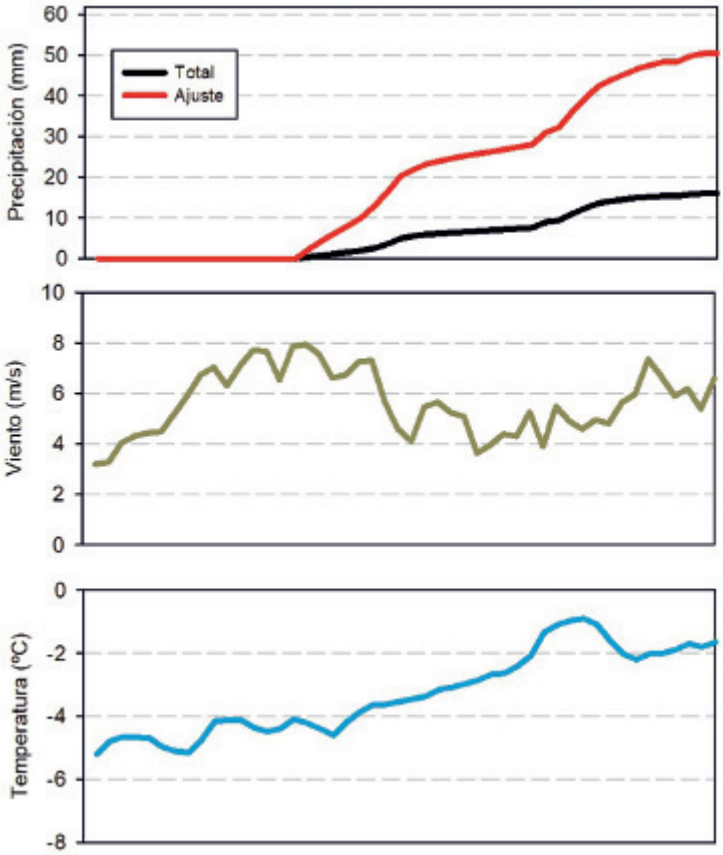

Figura 13. Ajuste de la precipitación en Mosqueruela (Teruel) en un intenso episodio de nieve.

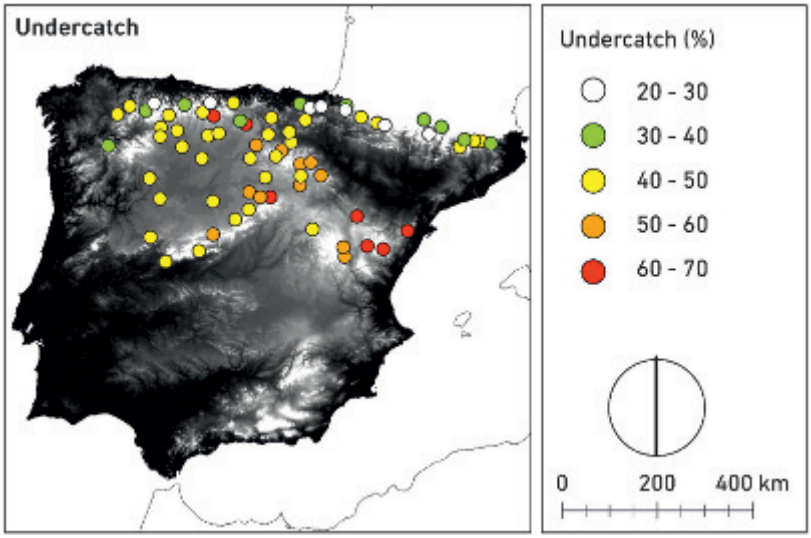

*Figura 14. Promedio de subestimación (*undercatch*) de la precipitación en periodos de 1 hora para nevadas en cada estación tras aplicar la función de ajuste.*

5. CONCLUSIONES

La precipitación es de suma importancia para la meteorología, la hidrología y el clima con múltiples impactos sobre la sociedad tales como turismo, transportes, sequías, agricultura, inundaciones y reservas hídricas. Por estas razones una medida precisa de la precipitación es necesaria para los gestores de recursos hídricos y emergencias, meteorólogos, climatólogos y científicos.

AEMET, gracias a su participación en el proyecto WMO-SPICE y a los resultados obtenidos de los diversos proyectos en marcha en Formigal-Sarrios, se convierte en una referencia a nivel nacional e internacional tanto en el estudio de la precipitación como en la intercomparación de instrumentación meteorológica.

AGRADECIMIENTOS

A la estación de esquí de Formigal y al equipo internacional SPICE, sin los que hubiese sido imposible realizar este proyecto.

Es importante así mismo resaltar todo el apoyo de Sistemas Básicos, de numerosos compañeros de la Delegación y de los dos delegados territoriales que han vivido de cerca este proyecto. Sin olvidar el completo apoyo del Departamento de Infraestructura y Sistemas, del Área de Relaciones Internacionales e Institucionales y de la Dirección de Administración de AEMET.

BIBLIOGRAFÍA

Buisán, S. T., Earle, M. E., Collado, J. L., Kochendorfer, J., Alastrué, J., Wolff, M., Smith, C. D. y López-Moreno, J. I., 2017. Assessment of snowfall accumulation underestimation by tipping bucket gauges in the Spanish operational network. *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 1079-1091. https://doi.org/10.5194/amt-10-1079-2017.

Goodison, B. E., Louie, P. Y. T. y Yang, D., 1998. WMO solid precipitation measurement intercomparison. WMO-IOM, Report N.º 67, WMO/TD-872, 212 pp.

Kochendorfer, J., Nitu, R., Wolff, M., Mekis, E., Rasmussen, R., Baker, B., Earle, M. E., Reverdin, A., Wong, K., Smith, C. D., Yang, D., Roulet, Y.-A., Buisán, S., Laine, T., Lee, G., Collado, J. L., Alastrué, J., Isaksen, K., Meyers, T., Brækkan, R., Landolt, S., Jachcik, A. y Poikonen, A., 2017. Errors and adjustments for single-Alter shielded and unshielded weighing gauge precipitation measurements from WMO-SPICE, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* doi:10.5194/hess-2016-684.

Nitu., R. y Wong., K., 2010. CIMO survey on national summaries of methods and instruments for solid precipitation measurement at automatic weather stations, Instruments and Observing Methods Report N.º 102, WMO/TD-N.º 1544, World Meteorological Organization, Geneva.

Nitu, R., Roulet, Y.-A., Wolff, M., Earle, M., Reverdin, A., Smith, C., Kochendorfer, J., Morin, S., Rasmussen, R., Wong, K., Alastrué, J., Arnold, L., Baker, B., Buisán, S., Collado, J. L., Colli, M., Collins, B., Gaydos, H.-R. A., Hannula, A., Hoover, J., Joe, P., Kontu, A., Laine, T., Lanza, L., Lanzinger, E., Lee, G. W., Lejeune, Y., Leppänen, L., Mekis, E., Panel, J.-M., Poikonen, A., Ryu, S., Sabatini, F., Theriault, J., Yang, D., Genthon, C.,

van den Heuvel, F., Hirasawa, N., Konishi, H., Nishimura, K. y Senese, A., 2019. WMO Solid Precipitation Intercomparison Experiment (SPICE) (2012-2015), WMO-IOM, Report N.º 131.

Rasmussen, R. y otros, 2012. How Well Are We Measuring Snow: The NOAA/FAA/NCAR Winter Precipitation Test Bed, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93: 811-829. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00052.1.

Thériault, J., Rasmussen, R., Ikeda, K. y Landolt, S., 2012. Dependence of snow gauge collection efficiency on snowflake characteristics. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51, 745-762.

Wolff, M. A., Isaksen, K., Petersen-Øverleir, A., Ødemark, K., Reitan, T. y Brækkan, R., 2015. Derivation of a new continuous adjustment function for correcting wind-induced loss of solid precipitation: results of a Norwegian field study, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 951-967. doi: 10.5194/hess-19-951-2015.