

Métodos propuestos para la evaluación de datos de precipitación medidos en estaciones automáticas

Nota Técnica SMN 2024-167

Karina Flores¹, María de los Milagros Skansi¹, María Mercedes Poggi¹, Norma Garay¹ y Hernán Veiga¹

¹ Dirección Central del Monitoreo del Clima, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación de Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional.

Marzo 2024

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

El Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN) se encuentra en proceso de automatización de su red de estaciones. Se están realizando mediciones automáticas y manuales en paralelo de distintas variables, las cuales deben ser contrastadas para determinar los efectos del cambio de instrumental. El presente trabajo aborda esta temática y describe los procedimientos estadísticos que utiliza el SMN para la comparación y la caracterización estadística de las mediciones de precipitación horaria, diaria y mensual. La serie de análisis propuestos consiste en determinar la habilidad de las estaciones automáticas para detectar eventos de lluvia, e incluye métodos que permiten evaluar si sus valores de precipitación acumulada en distintos intervalos de tiempo son consistentes con las mediciones convencionales. En este trabajo se muestran dos casos de estudio de pares de estaciones ubicadas en Villa Gesell y Pigüé, provincia de Buenos Aires, que se llevaron a cabo considerando el período completo de datos y desagregando la información en escalas diaria y mensual. En ambos casos se encontraron buenos resultados para detectar eventos y altas correlaciones entre las series, si bien, en general, las mediciones automáticas tendieron a subestimar los valores de precipitación acumulada de las series convencionales.

Abstract

The National Meteorological Service of Argentina (SMN) is in the process of automating its network of stations. Parallel automatic and manual measurements of different variables are being carried out, which must be contrasted to determine the effects of changing instruments. This paper addresses this issue and describes the statistical procedures used by the SMN for the comparison and statistical characterization of hourly, daily, and monthly precipitation measurements. The proposed series of analysis consists in determining the ability of the automatic station to detect rain events, and includes methods that allow to evaluate if the values of accumulated precipitation in different time intervals are consistent with conventional measurements. This work shows two study cases of pairs of stations located in Villa Gesell and Pigüé, Buenos Aires province, which were carried out considering the complete data period and disaggregating the information on daily and monthly scales. In both cases, good results to detect events and high correlations between the series were found, although, in general, the automatic measurements tended to underestimate the values of precipitation accumulated by the conventional series.

Palabras clave: automatización de redes, precipitación.

Citar como:

Flores, K., M. Skansi, M. Poggi, N. Garay y H. Veiga, 2024: Métodos propuestos para la evaluación de datos de precipitación medidos en estaciones automáticas. Nota Técnica SMN 2024-167.

1. INTRODUCCIÓN

La precipitación es una variable meteorológica cuya correcta medición es de gran importancia por su rol clave en el ciclo hidrológico. Teniendo en cuenta su amplia variabilidad espacial y que los registros manuales, en general, se realizan en períodos de tiempo de entre 6 a 24 horas, las mediciones automáticas de esta variable resultan ser una herramienta ampliamente útil para su detección inmediata. Representan, a su vez, una alternativa relativamente económica que resuelve el problema de la falta de estaciones en regiones de difícil acceso, al mismo tiempo que ofrecen un monitoreo continuo de la precipitación, esto último de gran utilidad para las estimaciones de intensidad de lluvia en cortos períodos de tiempo.

No caben dudas que toda red de mediciones meteorológicas se dirige a un sistema donde prevalezcan las mediciones automáticas, en la que la presencia de instrumental convencional o analógico sea cada vez menos frecuente. Siguiendo esta línea, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) contempla en su Plan estratégico 2020-2023 la instalación de una estación meteorológica automática (EMA) en cada punto de su red de observación (objetivo 4.1 del Plan Estratégico 2020-2023: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/smn_pe_20-23.pdf). Sin embargo, la transición de una red de estaciones meteorológicas convencionales (EMCs) a una red automática no es simple e implica un gran desafío a nivel mundial, que requiere un trabajo de intercomparación entre las mediciones de ambos instrumentos. Cualquier modificación que se realice sobre una red o sistema de información puede provocar una falta de homogeneidad en el registro climático (OMM, 2017). Por este motivo, es necesario que los cambios sean realizados con una supervisión estricta y con un exhaustivo control de la calidad de los datos obtenidos. En el caso de la precipitación, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sugiere que el período de coexistencia de ambos instrumentos debe ser de 60 meses. Como esto último no siempre es posible, una alternativa razonable es la coexistencia mínima de 24 meses de observaciones simultáneas (OMM, 2014, 2018). Es importante destacar que los cambios en las redes, métodos de medición y pluviómetros, junto con la complejidad inherente de la variable, han hecho que estimar las inhomogeneidades históricas en las series de precipitación sea considerablemente más complicado que la evaluación de los cambios en la temperatura superficial del aire. En la actualidad, el desafío de interpretar la información proveniente de sistemas automáticos se suma al de la comprensión de los sesgos de los antiguos instrumentos mecánicos (Metcalf y otros, 1997). Diversos autores exploraron metodologías de análisis que apuntan a identificar la exactitud de las mediciones automáticas. Sevruck y otros (2009) determinaron, al comparar los datos de un experimento de intercomparación entre 2004 y 2008, que el error en las mediciones depende del tipo de pluviómetro utilizado, y sugirieron derivar procesos de corrección en cada caso particular para así evitar errores sistemáticos. En este sentido, Lanza y Vuerich (2009) resaltaron la importancia de la correcta calibración del instrumental previa a su instalación para las mediciones de campo. Esto es de suma relevancia, ya que dichos instrumentos están expuestos a diversas condiciones climáticas y ambientales. Los pluviómetros automáticos pueden presentar varias dificultades, como la identificación del tipo de precipitación (nieve, hielo, mixta, etc.), la acumulación de precipitación en el orificio del dispositivo (Colli et al., 2016a, 2016b), la evaporación del contenido del recipiente, las vibraciones del recipiente provocadas por el viento, entre otras (Mekis et al., 2018). En particular, el viento suele ser el causante de generar una captación inadecuada de la precipitación (Sieck et al., 2007). El mantenimiento de las estaciones automáticas también es crucial y son varias las consideraciones a tener en cuenta para evitar errores en la medición. En el caso del sensor de lluvia, es necesario evitar que la suciedad obture el balancín, así como el recipiente de acumulación debe estar limpio y libre de suciedad (Stel y otros, 2019).

Entre los trabajos de interés, se destaca el del Equipo Científico de Observaciones Paralelas (POST, por sus siglas en inglés; Stepanek y otros, 2015), que realizó una evaluación comparativa entre mediciones paralelas, empleando observaciones convencionales y automáticas de precipitación provenientes de nueve países: Argentina, Brasil, Perú, Estados Unidos, República Checa, Israel, Kirguistán y Suecia. Esta evaluación incluyó el cálculo de las diferencias entre las series, sometiénolas a un exhaustivo control de calidad y un análisis de posibles inhomogeneidades. Se llevaron a cabo comparaciones de precipitaciones acumuladas diarias y mensuales, discriminando el análisis no sólo por país, sino también por estación del año y por diferentes altitudes. Se generaron gráficos de dispersión, histogramas y boxplots para tal fin. Los resultados revelaron que los conjuntos de datos de los distintos países presentan diversos niveles de calidad. En términos generales, las EMAs tendieron a subestimar la cantidad de precipitación en comparación con las EMCs, una señal advertida a nivel global. Se identificaron discrepancias durante las diferentes estaciones del año. Los sesgos más significativos se observaron en eventos de precipitación sólida, en períodos con velocidades de viento más altas (durante el invierno) y en presencia de tormentas eléctricas (durante el verano). A nivel nacional, Gattinoni y otros (2011) realizaron comparaciones de mediciones automáticas y convencionales de precipitación diaria y mensual de dos estaciones automáticas instaladas en el predio de INTA Castelar.

En este informe se reúnen una serie de metodologías aplicadas por el SMN para evaluar posibles diferencias entre las mediciones de precipitación líquida de las EMAs y las EMCs, asumiendo que los instrumentos se encuentran correctamente emplazados en la misma ubicación.

2. DATOS

Se disponen de datos de precipitación medidos en las EMAs. Cada una de ellas tiene su propia configuración y muchas veces muestran diferentes variables relacionadas con la precipitación. Por lo tanto, es necesario que se recurra a los metadatos disponibles para entender qué variable se mide en cada intervalo de tiempo.

Una de las recomendaciones de la OMM, en el marco del Sistema Mundial Integrado de Observación del Clima (WIGOS, por sus siglas en inglés), es que cada conjunto de datos venga acompañado por sus metadatos. Estos metadatos incluyen la descripción de la variable observada, las condiciones en las que se llevó a cabo la observación, la técnica de medición empleada y el proceso mediante el cual los datos fueron tratados (OMM, 2015). Dependiendo de la configuración de la EMA, se toma la variable adecuada para armar, primero, la serie de datos de precipitación acumulada cada hora. Luego, se procede a acumular los valores en 24 horas considerando el día pluviométrico, desde las 9 am hasta las 9 am del día siguiente.

Con respecto a los datos faltantes, puede ocurrir que las EMAs no registren datos en ciertos intervalos de tiempo. Esto puede generar inconvenientes en los montos de precipitación acumulada, sobre todo en intervalos de tiempo inferiores a los diarios. En este estudio se considera el criterio de que, si dentro del intervalo de una hora existen 20% o más de datos faltantes, se suprime la hora completa. Por ejemplo, si la estación mide cada 10 minutos, midiendo 6 veces en 1 hora, y si la cantidad de datos faltantes en la hora es de 2 o más, entonces se anula la hora completa. Este criterio, sin embargo, no se tiene en cuenta para calcular el dato de precipitación diaria; para este caso, se contempla el 20% de los intervalos totales, independientemente si son consecutivos o no. Siguiendo el mismo ejemplo, si la estación mide cada 10 minutos, el día (las 24 horas) se considera faltante si faltan 30 intervalos o más. Cabe destacar que los criterios de tolerancia de datos faltantes se definieron de manera empírica y se continúan analizando

alternativas a los umbrales considerados, dado que no se ha encontrado bibliografía que sustente un límite de datos faltantes conciso. Una alternativa válida puede ser considerar los datos completos, con 100% de intervalos medidos (sin datos faltantes). Siguiendo este criterio, de tolerancia cero a datos faltantes, se compararían datos diarios completos, y en una serie de 5 años se podría obtener un volumen de datos suficiente para evaluar la bondad de la medición automática. Sin embargo, puede ser más difícil al evaluar las series mensuales, o estacionales, dado que se perderían varios meses de información y sería necesario contar con más tiempo de mediciones simultáneas. El criterio adoptado en este estudio, de tolerancia del 20% de datos faltantes, apunta a comparar las mediciones obtenidas en el período simultáneo, sin perder de vista que cualquier red de observación, a pesar de los intentos de reducir la pérdida de datos, se encuentra inevitablemente sujeta a cierto nivel de interrupciones. De acuerdo a OMM (2017), y en base a la experiencia de Australia, el porcentaje total de datos faltantes es similar tanto en las EMCs como en las EMAs, aunque la duración promedio de las interrupciones es mayor en estas últimas.

Es también importante destacar que, en general, las EMAs asignan el dato de lluvia hacia el final del intervalo medido. Siguiendo el ejemplo anterior en el que la estación mide cada 10 minutos, la precipitación indicada a las 8:10 corresponde a la precipitación medida entre las 8:00 y las 8:10. De esta manera, para calcular la precipitación acumulada en una hora, se suman las precipitaciones acumuladas entre los intervalos 8:10 y 9:00 hs, y este valor es asignado a la hora 08:00. De forma similar, la serie diaria es computada acumulando los valores de precipitación medidos entre las 12:10 UTC del día 1 y las 12:00 UTC del día 2, asignando este valor al día 1 y quedando así definido el día pluviométrico correspondiente, de acuerdo a los usos cotidianos de la meteorología (OMM, 2014).

Los datos de precipitación correspondientes a las EMCs son valores de precipitación diaria medidos con el pluviómetro convencional. Estas mediciones se ajustan a los requerimientos de la OMM (OMM, 2014). A su vez, en caso de haber un pluviógrafo operativo en la EMC, se dispone de los datos de la precipitación horaria obtenidos a partir de la digitalización de las fajas de dicho instrumento.

3. METODOLOGÍA

En este caso, se evalúan las mediciones automáticas de pluviómetros considerados como correctamente emplazados, que se encuentran en los mismos predios que las EMCs de superficie de la red del SMN y que cuentan con pluviómetros manuales.

El objetivo principal del trabajo consiste en evaluar la fiabilidad del sensor automático para registrar los eventos de precipitación y para lograr mediciones de precipitación acumulada con una exactitud aceptable, dando continuidad a los registros históricos. También se pretende corroborar el desempeño del sensor durante eventos extremos, tanto de lluvias máximas como mínimas. Para todo ello, se comparan las mediciones horarias, diarias, mensuales y estacionales.

Como premisa de este trabajo, se considera como valor de referencia a la precipitación medida en la EMC. Sin embargo, es importante destacar que esta medición puede incluir errores, como pérdidas de captación por viento, salpicaduras en el borde del receptáculo (pudiendo generar errores tanto negativos como positivos) e incluso, en casos extremos, la posibilidad de evaporación, entre otros (OMM, 2014). Estos errores también pueden estar presentes en la medición automática, aunque algunos de ellos reducidos.

Para el análisis de los datos diarios, la recomendación mínima es contar con mediciones paralelas en un período de 2 años (OMM, 2014). Para el análisis mensual y estacional, la experiencia muestra que es recomendable contar con al menos 5 años de información, ya que lo que se busca es determinar si existe algún tipo de estacionalidad en los errores. Es importante recordar que, mientras más extenso sea el periodo de coexistencia, más robustos serán los resultados de la intercomparación. A su vez, si el instrumento falla al registrar las precipitaciones diarias, inevitablemente mostrará errores en escalas mayores.

3.1 Habilidad para detectar eventos diarios

Para evaluar la habilidad de la estación automática en detectar eventos de lluvia, se construye una tabla de contingencia de mediciones automáticas diarias versus mediciones convencionales diarias. Se definen los siguientes parámetros (adaptados de Hobouchian, 2015):

Acierto (A): se detecta un evento de lluvia simultáneamente en la medición manual y en la automática.

Dato Faltante (DF): se detecta un evento de lluvia en la medición manual pero no en la automática.

Falso Positivo (FP): se detecta un evento de lluvia en la medición automática pero no en la manual.

Acierto Negativo (AN): no se detecta un evento de lluvia en la medición manual ni en la automática.

De esta manera, la tabla tiene una forma como la que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Modelo de tabla de contingencia de detección de eventos de lluvia en la EMC versus la EMA.

Detección de lluvia		EMC	
		SI	NO
EMA	SI	A	FP
	NO	DF	AN

Para validar esta tabla de contingencia se computan los siguientes índices (adaptados de Hobouchian, 2015):

Bias Score (BIASS): relación entre la cantidad de eventos de lluvia registrados en la medición automática y la cantidad de eventos de lluvia registrados en la medición manual:

$$BIASS = \frac{A + FP}{A + DF}$$

Lo óptimo es que el valor de este índice sea cercano a 1.

Probabilidad de Detección (POD): relación entre los aciertos y la cantidad total de eventos de lluvia ocurridos:

$$POD = \frac{A}{A + DF}$$

Lo óptimo es que el valor de este índice sea cercano a 1.

Falsas Alarmas (FAR): relación entre los falsos positivos y la cantidad total de eventos detectados en la medición automática:

$$FAR = \frac{FP}{A + FP}$$

Lo óptimo es que el valor de este índice sea cercano a 0.

3.2 Consistencia entre ambas series diarias

Para evaluar la consistencia entre las series, se calcula la correlación lineal entre las mediciones diarias de cada instrumento. Para que esta correlación sea representativa, se eliminan aquellos datos coincidentes donde no se registra precipitación en ambos instrumentos (AN). Luego de la remoción de estos datos, se calcula el coeficiente de Pearson (Pearson, 1920) y el intervalo de confianza de dicho coeficiente, con un 95% de significancia.

Una vez comprobada la correlación, se computan las diferencias entre ambas mediciones a nivel diario. Este paso busca encontrar la existencia de algún sesgo sistemático entre las mediciones. Es deseable que las diferencias sean pequeñas y que oscilen por encima y debajo de 0 aleatoriamente. Puede evaluarse, por ejemplo, tomando la media de estas diferencias y la raíz del error cuadrático medio (RECM):

$$RECM = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (ppEMA_n - ppEMC_n)^2}{N}}$$

Donde ppEMA y ppEMC son las precipitaciones diarias de la EMA y de la EMC del día n, respectivamente, y N es la cantidad total de días con registros simultáneos.

Luego, se calcula el coeficiente de inconsistencia (CI), utilizando la definición dada por Colotti y otros (2002) y aplicada por Gattinoni y otros (2011). Si se mide el mismo fenómeno con diferentes instrumentos correctamente calibrados, se puede obtener el CI a partir de la siguiente ecuación:

$$C_I = \frac{V(X-X^*)}{V(X)+V(X^*)}$$

Donde V() corresponde a la varianza y X y X* son las variables de precipitación convencional y automática, respectivamente. Para este cálculo sólo se consideran los datos de lluvia mayores a 0 mm. Es deseable que el CI sea lo más cercano a 0 para determinar una consistencia óptima entre las mediciones.

Adicionalmente, se evalúan los datos de precipitación diaria mediante un histograma de frecuencia de precipitación, con rangos definidos en base a los datos de cada estación. Luego, se contrastan los histogramas de cada instrumento utilizando el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones (Aiguo Dai et al, 2011). El objetivo de esta instancia consiste en detectar si las frecuencias de observación en cada intervalo son similares, y si las diferencias son constantes o dependen del intervalo de precipitación definido. Para este procedimiento sólo se consideran eventos de lluvia diaria superiores a 5 mm.

3.3 Consistencia entre series mensuales y diferencias observadas

Para evaluar posibles diferencias en los valores mensuales se calculan, por un lado, las correlaciones entre las series y, por el otro, los CI. También se calculan las diferencias diarias para cada mes y se las grafican en un boxplot, siguiendo el trabajo de Stepanek y otros (2015). Si la longitud de la serie lo permite, es útil también graficar en un boxplot las diferencias de los valores de precipitación mensuales. En este caso, se trata de encontrar si las diferencias entre los valores mensuales muestran alguna estacionalidad o si son uniformes a lo largo del año.

3.3 Comportamiento frente a eventos extremos

Para analizar el rendimiento de la medición automática en eventos diarios, es sugerible separar las mediciones diarias de la EMC en intervalos de precipitación. Acquaotta (2016) propone clasificar la precipitación en 5 categorías, utilizando los percentiles de la estación de referencia. De esta forma, las categorías sugeridas son: precipitación débil (inferior al percentil 50), media (entre los percentiles 50 y 80), fuerte (entre los percentiles 80 y 95), muy fuerte (superior al percentil 95) y extremadamente fuerte (superior al percentil 99). Cuando la serie de datos disponible no sea lo suficientemente extensa como para calcular percentiles representativos de la climatología, se pueden considerar los siguientes rangos: 0.1 – 1 mm, 1.1 – 5 mm, 5.1 – 10 mm, 10.1 – 20 mm y valores mayores a 20 mm. Luego, se pueden calcular las diferencias porcentuales de las mediciones y analizarlas gráficamente a través de un boxplot para cada categoría (Lukasová y otros, 2023).

Además, en aquellas estaciones que cuenten con pluviógrafo activo y fajas legibles, se pueden calcular las diferencias en los valores de precipitación acumulada en intervalos de tiempo de 3 horas o menos. Para este fin, se consideran el 5% de los eventos más extremos de la serie de la EMC, es decir, aquellos eventos clasificados como “muy fuertes”, y se comparan los registros de la EMA en escala sub-diaria con la información pluviográfica. Las diferencias porcentuales son indicadores suficientes para medir la representatividad de la medición.

Son motivo de análisis también aquellos eventos de lluvia mínima. En la medición convencional actual, cuando la precipitación acumulada es menor a 0.1 mm, se la considera como traza de lluvia y no se indica un valor de precipitación acumulada. Para analizar la respuesta del sensor automático a estos eventos, se contabilizan los eventos de traza y se los compara con el dato medido automáticamente. A su vez, se elabora un histograma de frecuencias de las mediciones automáticas para estos casos. También, en este sentido, Brandsma (2015) propone estudiar la diferencia en la cantidad de días húmedos registrados en cada instrumento. Los días húmedos son definidos con distintos umbrales de precipitación diaria: 0.1, 0.2, 0.5, 1 y 1.5 mm. Se analizarán las diferencias en frecuencias para cada umbral y las diferencias en mm.

3.5 Series estacionales y anuales

Siguiendo a Stepanek y otros (2015), las evaluaciones en esta etapa consisten en armar boxplot a partir de las diferencias entre las mediciones de ambos sistemas de medición en escala trimestral y anual. El objetivo es encontrar si las diferencias tienen algún sesgo estacional y si la serie anual está bien representada. Cabe destacar que este análisis sólo será posible si se considera una suficiente cantidad de años como para obtener conclusiones robustas. Por lo tanto, lo recomendable es contar con al menos 5 años de mediciones paralelas para este análisis.

4. RESULTADOS

Hasta el momento, se realizaron estudios sobre distintas estaciones de las que se disponen datos de mediciones automáticas: Ushuaia, Pilar (Córdoba), Pigüé y Villa Gesell. Se muestran los resultados obtenidos para Pigüé y Villa Gesell.

En la estación Pigüé, provincia de Buenos Aires, se utilizaron datos diarios de la estación convencional y datos automáticos, desde el 1 de diciembre de 2018 hasta el 31 de diciembre de 2021. Esta estación automática pertenece a la red del Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME) y cuenta con un pluviómetro del tipo cubeta basculante (“tipping bucket”), con una resolución de 0.2 mm cada 10 minutos. Por su parte, los datos de Villa Gesell comprenden el período entre 29 de abril de 2021 y el 30 de abril de 2023. La estación automática asociada pertenece al SMN, es de cubeta basculante y también tiene una resolución de 0.2 mm con pasos de tiempo de 10 minutos. Con respecto a los pluviómetros convencionales, las estaciones cuentan con pluviómetros tipo B. Se asumió que, previo a este análisis, los sensores electrónicos fueron correctamente calibrados, y se constató que la cantidad de mediciones faltantes en la estación automática no superara el 20%.

En cuanto a la habilidad para detectar eventos diarios, en las Tablas II y III se observan las tablas de contingencia para cada una de las estaciones, obtenidas siguiendo las metodologías descritas en la sección 3.1. En la Tabla IV se presentan los índices de validación asociados a dichas tablas, junto con los coeficientes calculados con el fin de evaluar la consistencia entre ambas series: el CI y la correlación.

Tabla II: Tabla de contingencia de detección de eventos de lluvia diaria medidos en la EMC versus la EMA de Pigüé. Los valores representan la frecuencia absoluta de casos.

Pigüé Detección de lluvia		EMC	
		SI	NO
EMA	SI	244	44
	NO	47	792

Tabla III: Ídem Tabla II para Villa Gesell.

Villa Gesell Detección de lluvia		EMC	
		No	Si
EMA	No	468	65
	Si	20	179

Tabla IV: Parámetros de validación asociados a las Tablas I y II, los CI y la correlación con su intervalo de confianza.

Estación	BIASS	FAR	POD	CI	Correlación	Intervalo Confianza (95%)
Pigüé	0.99	0.15	0.84	0.03	0.979	0.974-0.983
Villa Gesell	0.82	0.10	0.73	0.01	0.984	0.979-0.987

Se observa que ambas estaciones presentan una buena correlación entre los registros diarios de la estación convencional versus los de la estación automática, siendo esta significativa al 95% de confianza, con un bajo CI y un alto BIASS. En la Figura 1 se muestran gráficamente el comportamiento de los datos y su ajuste lineal en Pigüé (arriba) y Villa Gesell (abajo), que respalda la fuerte relación lineal positiva entre mediciones. Se destacan algunos valores de estos gráficos: en Pigüé, por ejemplo, se registraron 1.2 mm en la EMA y 33 mm en la EMC el día 7 de febrero de 2019, y en Villa Gesell, 98.8 mm en la EMA y 69 mm en la EMC el 8 de septiembre de 2021.

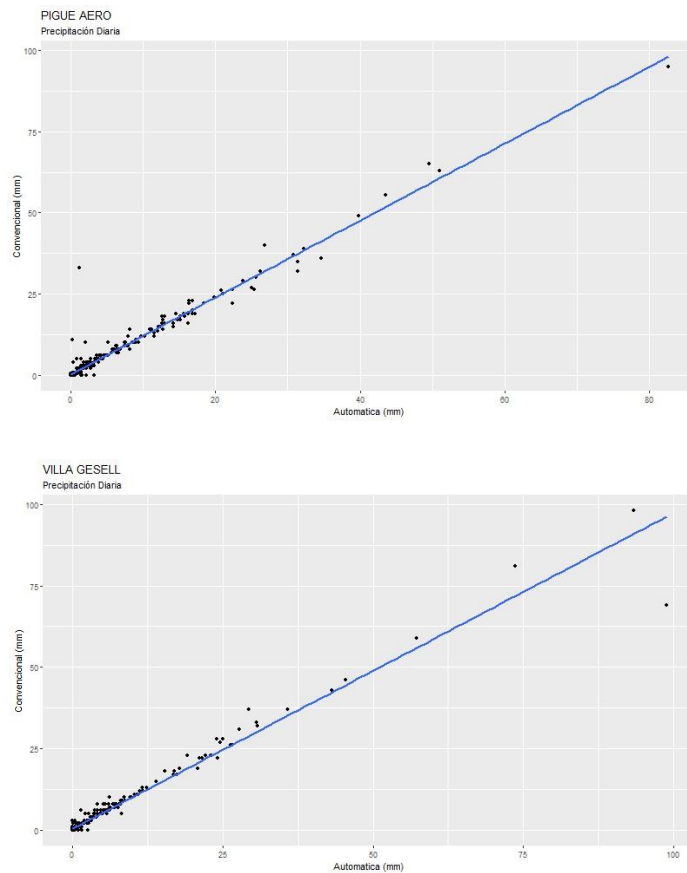


Fig. 1: Gráfico de dispersión de los valores de precipitación diaria (mm) medidos por la EMC versus la EMA, junto con el ajuste lineal aplicado en línea azul. Arriba: resultados para Pigüé. Abajo: resultados para Villa Gesell.

Con respecto a las diferencias en los valores, se halló que la RECM para Pigüé es 1.6 mm, mientras que para Villa Gesell es 1.3 mm.

En la Figura 2 se presenta el histograma de frecuencia de precipitación, donde sólo se consideraron los casos de lluvia diaria superior a 5 mm. Puede notarse que, si bien hay diferencias entre la cantidad de frecuencias registradas en cada categoría, ambas series son coherentes. Según el test de Kolmogorov-Smirnov, se encontró que las muestras pertenecen a la misma población, con un nivel de significancia del 95%. Los resultados coinciden para ambas estaciones.

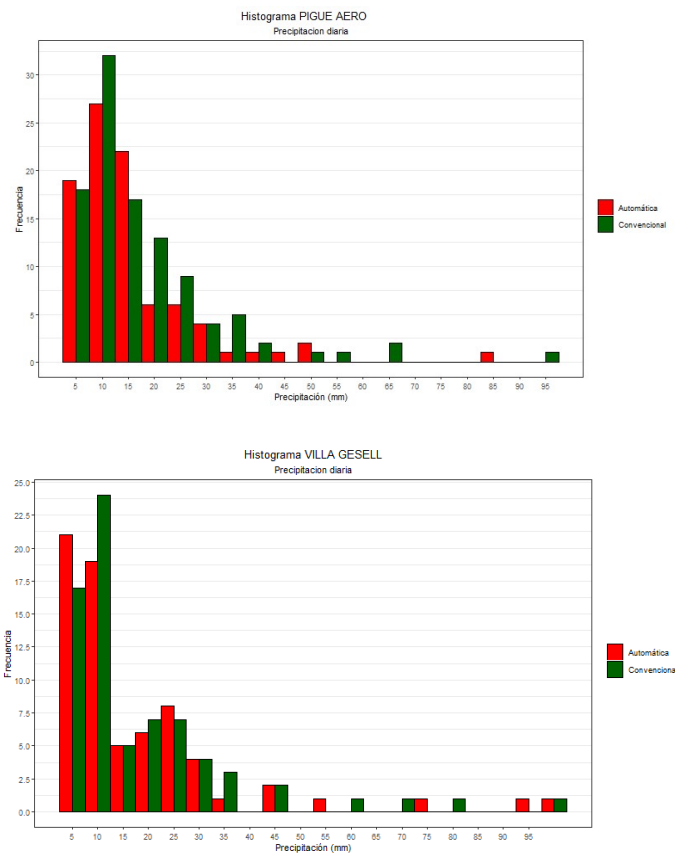


Fig. 2: Histograma de frecuencias absolutas de registros de precipitación diaria mayor a 5 mm para ambos instrumentos. Arriba: resultados para Pigüé. Abajo: resultados para Villa Gesell.

Con respecto a los eventos extremos, aquellos que superan el percentil 95 en la serie diaria de la EMC, se computaron las diferencias encontradas entre la medición de la EMA y la EMC. Estas diferencias absolutas se encontraron en el orden entre el 13% y el 23% para la estación de Pigüé, mientras que para Villa Gesell, fueron menores al 20%. En ambas estaciones, los valores de precipitación acumulada de las EMAs subestimaron a los de las EMCs, excepto en un evento de 69 mm registrado en Villa Gesell en septiembre de 2021 por el pluviómetro convencional, en donde se obtuvo un valor de 98.8 mm en la medición automática.

En la Figura 3 se presenta la evolución de la precipitación mensual en la estación Pigüé. Los resultados indican que, si bien existe un comportamiento similar entre los registros, el sensor automático subestima las

mediciones convencionales, con diferencias de hasta el 25% de la precipitación mensual. Para estos valores, el CI calculado es de 0.05, resultando ser un valor aceptable, que muestra buena consistencia entre ambas series de datos. Resultados similares se encontraron para Villa Gesell (no se muestra), con un CI de 0.01 y una subestimación de los valores convencionales mensuales de lluvia, exceptuando a septiembre de 2021, debido al evento mencionado anteriormente.

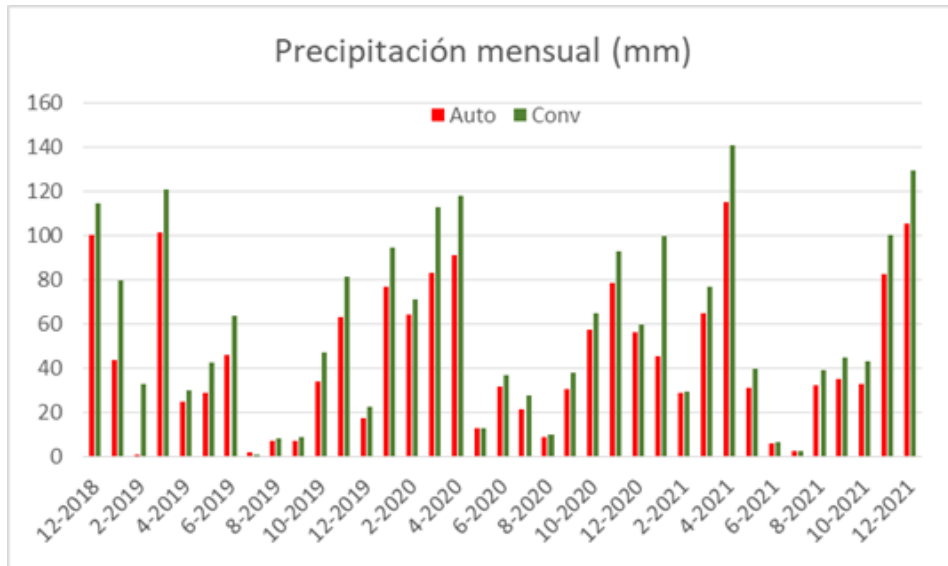


Fig. 3: Evolución de la precipitación acumulada mensual para ambos instrumentos de Pigüé.

Con respecto a la detección de días húmedos, ambas estaciones automáticas mostraron una sobreestimación de casos de días húmedos para el umbral más bajo, de 0.2 mm (en este caso no se considera el umbral de 0.1 mm debido a que es inferior al paso mínimo de las EMAs), y una subestimación de la cantidad de eventos de días húmedos para los umbrales mayores, de 0.5, 1 y 1.5 mm. En la Figura 4 se muestran los resultados para Pigüé, similares a los hallados en Villa Gesell. La mayor diferencia se encontró para el umbral de 1.5 mm: la cantidad de días húmedos detectados por la EMA de Pigüé es 11.8% menor que la detectada por la EMC, mientras que para Villa Gesell es 3% menor.

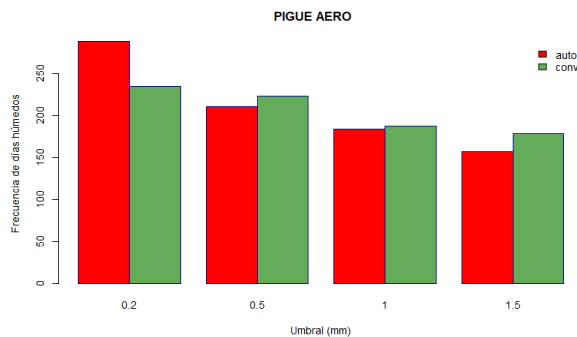


Fig. 4: Cantidad de días húmedos detectados en función de los umbrales establecidos.

Por último, en la Figura 5 se muestran los resultados de las diferencias de las lluvias diarias, para cada mes, para la serie de Pigüé. Se observa que, en promedio, las diferencias son negativas, indicando una subestimación de los valores de precipitación diaria por parte del sensor automático. Resultados similares se obtuvieron para Villa Gesell (no se muestran).

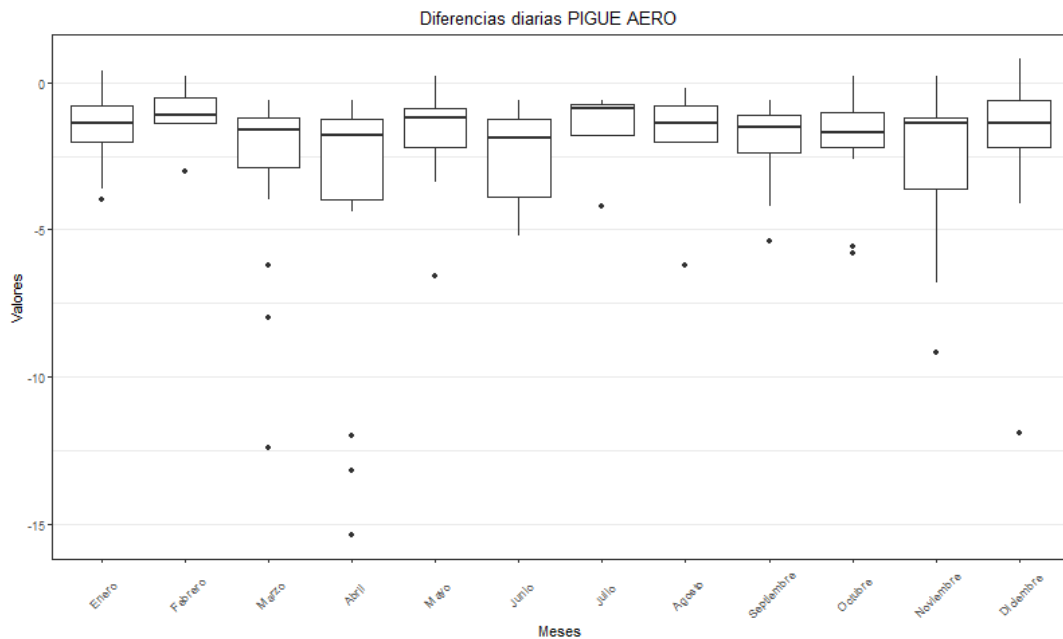


Fig. 5: Boxplots mensuales de las diferencias entre los datos diarios de la EMC y la EMA (EMA - EMC) de Pigüé. Para facilitar la visualización del gráfico se eliminó el dato del 07/02/2019 de -31.8 mm.

5. CONCLUSIONES

La precipitación es una de las variables más relevantes que requiere de mediciones precisas y de robustez, tanto temporal como espacialmente. Una de las limitaciones de la red actual de observaciones del SMN es que la distribución geográfica deja extensas áreas del país sin cobertura. Otra limitación es que, al contar mayormente con pluviómetros convencionales, la frecuencia de medición suele ser como mínimo de 6 horas. Esto dificulta los estudios de intensidad de precipitación en escalas menores a la diaria. Los sensores automáticos, por su parte, brindan la ventaja de poder ser instalados en áreas de difícil acceso, además de obtener mediciones cada intervalos de tiempo desde 1 hasta 15 minutos. Si bien la automatización de la red será una solución a las limitaciones actuales, ésta no puede llevarse a cabo sin antes contemplar un programa de mediciones paralelas entre ambos instrumentos, que permita evaluar la fiabilidad de los datos registrados automáticamente. La importancia de las mediciones paralelas se destaca por el hecho de que se utilizan no sólo para verificar el desempeño de los pluviómetros, sino también para desarrollar

procedimientos de corrección de errores sistemáticos en la medición de la precipitación (Sevruk y otros, 2009). En este documento se detallan algunas metodologías relevadas para la evaluación de las mediciones de lluvia, que comprenden la determinación de la habilidad de los sensores automáticos para detectar los eventos de lluvia, el cálculo de los errores en los valores de precipitación acumulada, y la comparación de las mediciones frente a eventos extremos de precipitación máxima y de lluvia no medibles con el pluviómetro convencional o traza.

En este estudio se presentan los resultados de dos casos de estudio: Pigüé y Villa Gesell. Dichos resultados muestran, en general, un funcionamiento aceptable de las mediciones automáticas. Sin embargo, en Pigüé, los registros automáticos subestiman constantemente a aquellos convencionales, con un impacto mayor en los eventos más extremos, donde las diferencias pueden llegar a ser del 25% o incluso de más del 45%, como lo es también en el caso de Villa Gesell. En la bibliografía consultada ya se había mencionado esta desviación, y su efecto se puede ver en varias regiones del mundo (Stepanek y otros, 2015).

Las evaluaciones aquí sugeridas son las mínimas recomendables y no se descartan otros métodos que puedan surgir en el futuro para complementarlas o sustituirlas. Esta iniciativa está enmarcada en el objetivo 4.1 del Plan Estratégico 2020-2023, para el cual se involucran también otras variables, como por ejemplo la temperatura. Para esta última se han publicado las metodologías sugeridas en la Nota Técnica de Poggi y otros (2023).

6. REFERENCIAS

Acquaotta, F., Fratianni, S., Venema, V., 2016: Assessment of parallel precipitation measurements networks in Piedmont, Italy. *Int J Climatol* 36(12):3963-3974.

Aiguo Dai et al, 2011: A New Approach to Homogenize Daily Radiosonde Humidity Data. *Journal of Climate*. Volume 24 Issue 4, pages 965-991.

Brandsma, T., 2014: Comparison of automatic and manual rainfall networks in the Netherlands. KNMI Technical report TR-347, De Bilt, 42 pp.

Colli M., Lanza L.G., Rasmussen R. y Thériault J.M, 2016: The collection efficiency of shielded and unshielded precipitation gauges. Part I: CFD airflow modeling. *Journal of Hydrometeorology*, 17(1), 231-243.

Colli M., Lanza L.G., Rasmussen R. y Thériault J.M, 2016: The collection efficiency of shielded and unshielded precipitation gauges. Part II: Modeling particle trajectories. *Journal of Hydrometeorology*, 17(1), 245-255.

Colotti E., Blanco A. y Rodríguez J., 2002-2003: Aplicación del coeficiente de inconsistencia como criterio de comparación entre mediciones convencionales y automáticas de lluvia diaria. *Terra*. vols. XVIII-XIX, Nos. 27-28, 85-101.

Gattinoni N., Boca T., Rebella C. y Di Bella C., 2011: Comparación entre observaciones meteorológicas obtenidas de estaciones convencionales y automáticas a partir de la estimación de parámetros estadísticos. *RIA* vol. 37 no. 1.

Hobouchian M., García Skabar Y., Barrera D., Vila D. y Salio P., 2017: Validación de la estimación de precipitación por satélite aplicando la técnica hidroestimador. *Meteorológica* vol. 42 no. 1.

- Lanza L. y Vuerich E., 2009: The WMO Field Intercomparison of Rain Intensity Gauges. *Atmospheric Research*, 94, 543-543.
- Lukasová V., Buchholcerová A., Onderka M., Bičárová S, Bilčík D. y Nejedlík P., 2023: How can the transition from conventional to automatic measurements affect the climatological normals? – A case study from an alpine meteorological observatory at Skalnaté Pleso, Slovakia. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol 32, Iss 5, Pp 431-444.
- Mekis E., Donaldson, N., Reid, J., Zucconi, A., Hoover, J., Li, Q., Nitu, R. y Melo, S., 2018: An overview of surface-based precipitation observations at environment and climate change Canada. *Atmosphere-Ocean*, 56(2), pp.71-95.
- Metcalf J.R., Routledge B. y Devine K., 1997: Rainfall measurement in Canada: changing observational methods and archive adjustment procedures. *Journal of Climate*, 10(1), 92-101.
- Organización Meteorológica Mundial, 2014: Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológica. OMM-No.8, Ginebra, Suiza
- Organización Meteorológica Mundial, 2015: WIGOS metadata standard manual. WMO-No.1157, Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial, 2017: Desafíos en la transición de las redes de observaciones meteorológicas convencionales a las automáticas en registros climáticos a largo plazo. OMM-No.1202, Ginebra, Suiza
- Organización Meteorológica Mundial. 2018: Guía de prácticas climatológicas. OMM-No.100, Ginebra, Suiza.
- Pearson K., 1920: Notes on the History of Correlation. *Biometrika*, 25-45.
- Poggi M.M., Skansi M.M., Flores K., Garay N. y Veiga H., 2023: Comparación entre mediciones manuales y automáticas de temperatura: procedimientos metodológicos y casos de estudio. Nota Técnica SMN 2023-135.
- Sevruk B., Ondrás M. y Chvíla B., 2009: The WMO precipitation measurement intercomparisons. *Atmospheric Research*, 92, 376–380.
- Sieck L.C., Burges S.J. y Steiner M., 2007: Challenges in obtaining reliable measurements of point rainfall. *Water Resources Research*, 43:W01420.
- Stel L, Haldbrandt G. y Sanchez G., 2019: Sobre mantenimiento e interpretación de fallas de estaciones automáticas. Nota Técnica SMN 2019-61.
- Stepanek y otros, 2015: Biases in precipitation records found in parallel measurements. DOI: 10.13140/RG.2.1.4348.6967. Conference: 10th EUMETNET Data Management Workshop (Switzerland).

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).