



*Universidad Nacional de La Plata*  
*Facultad de Informática*

---

## **VARIACIÓN TEMPORAL DE ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN EXTREMA EN LA CIUDAD DE LA PLATA.**

---

Proyecto de estudio elegido aplicando conocimientos obtenidos cursando la materia Matemática IV.

Kumichel, Franco Leandro  
Volpe Giangiordano, Juan Francisco

*La Plata, 2025*

## 1. Introducción

El análisis de eventos extremos de precipitación constituye una herramienta fundamental para comprender los cambios en el régimen hídrico y sus posibles impactos sobre la hidrología regional, la planificación urbana y la producción agropecuaria. En las últimas décadas, diversos estudios han documentado modificaciones en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas en distintas regiones del planeta ([IPCC AR6, 2021](#)).

El Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) desarrolló un conjunto de índices estandarizados basados en datos diarios de precipitación y temperatura, que permiten caracterizar la magnitud, frecuencia y persistencia de los extremos climáticos ([Frich et al., 2002](#); [Zhang et al., 2011](#)). La aplicación de estos índices ha permitido detectar patrones de cambio en distintas escalas temporales y espaciales, contribuyendo al monitoreo del cambio climático.

En las últimas décadas, diversos estudios han documentado modificaciones en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas en distintas regiones del planeta, las cuales se asocian tanto a la variabilidad climática natural como al cambio climático de origen antrópico (IPCC AR6, 2021). A escala global, la precipitación máxima diaria anual promedio (Rx1day) ha aumentado significativamente desde mediados del siglo XX sobre las áreas continentales, y tanto en regiones húmedas como secas ([Du et al., 2019](#); [Dunn et al., 2020](#)). Por otra parte, en América del Sur la evidencia muestra un aumento en las precipitaciones extremas, aunque con baja confianza en muchos casos; la incorporación de la última década de datos sugiere un aumento más robusto en Rx1day para la tierra continental ([Sun et al., 2021](#)).

En el sudeste de Sudamérica, y particularmente en la región pampeana, se han observado tendencias hacia condiciones más húmedas y un aumento en eventos extremos de precipitación intensos ([Barros et al., 2015](#)). En la zona de La Plata, estudios previos señalan que las precipitaciones extremas han tenido un papel sustantivo en los registros de inundaciones, detectando cambios en monto e intensidad de las lluvias en la estación de aeródromo durante las décadas finales del siglo XX ([Cesanelli & Ricetti, 2025](#)) y tendencias al alza en los valores máximos diarios en el período 1961-2019 ([GBA EIA, 2021](#)).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la variación temporal de los índices de precipitación extrema en la ciudad de La Plata, calculados a partir de registros diarios de precipitación comprendidos en el periodo de 1961-2024. A su vez, se propone modelar la relación entre distintos índices de precipitación extrema mediante regresión lineal múltiple, a fin de evaluar la capacidad explicativa conjunta de los indicadores de intensidad, frecuencia y duración sobre la precipitación máxima diaria (Rx1day).

## 2. Descripción de la información básica

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la ciudad de La Plata, ubicada en la provincia de Buenos Aires, Argentina. El clima es de tipo templado húmedo, con una temperatura media anual de aproximadamente 16,3 °C y precipitaciones medias anuales cercanas a 1023 mm.

Debido a su proximidad al Río de la Plata, la humedad relativa es elevada, con un promedio anual del 80 %, mientras que el viento dominante proviene del suroeste, con mayor frecuencia durante aproximadamente cuatro meses al año.

## **2.2 Datos**

El estudio se basó en los registros diarios de precipitación correspondientes a la estación meteorológica La Plata AERO, comprendidos en el período 1961–2024, provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Se realizó un análisis exploratorio de los datos con el propósito de evaluar su estructura y calidad. En esta etapa, se detectaron 71 valores faltantes, equivalentes a aproximadamente el 0,3 % del total de 24.456 registros. La distribución temporal de estos datos ausentes muestra una concentración en enero de 1972 y marzo de 1983, sin evidenciar un patrón persistente en el resto de la serie.

Dado que la proporción de faltantes es mínima y su distribución temporal se limita a periodos puntuales, se optó por descartar dichas observaciones, criterio que se considera válido al no implicar una pérdida significativa de información ni comprometer la representatividad temporal de la serie.

Para verificar la calidad y consistencia de los registros, se evaluó la homogeneidad de la serie temporal con el fin de detectar posibles cambios estructurales asociados a modificaciones instrumentales, relocalización de la estación o alteraciones en el entorno.

Se aplicaron los tests estadísticos de homogeneidad más utilizados en estudios climatológicos: Pettitt, SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) y Buishand.

Los tests de SNHT y Buishand indicaron un posible punto de quiebre en la fecha 27 de septiembre de 1976, mientras que el test de Pettitt señaló la fecha 17 de marzo de 2006. Sin embargo, en los tres casos, los resultados no fueron estadísticamente significativos, lo que sugiere que la serie de precipitaciones es homogénea y adecuada para el análisis de tendencias y variabilidad climática.

## **3. Metodología**

En el presente trabajo se estiman diferentes índices derivados de la precipitación diaria en la estación de La Plata AERO ubicada La Plata, Buenos Aires.

Los índices de precipitación fueron calculados en escala anual y estacional, considerando todo el período de observaciones disponible (1961–2024) y, adicionalmente, para dos subperíodos de referencia: 1961–1990 y 1991–2020. Los meses que incluye cada estación del año son: diciembre, enero y febrero, verano; marzo, abril y mayo, otoño; junio, julio y agosto, invierno y septiembre, octubre y noviembre, primavera.

En la Tabla 1 se presentan las definiciones de los índices utilizados, los cuales corresponden a los índices climáticos extremos de precipitación recomendados por el Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).

Índice	Nombre	Definición / Cálculo	Unidad
<b>RX1day</b>	Máxima precipitación en 1 día	Sea $RR_{i\Box}$ la precipitación diaria en el día $i$ del período $j$ . Se define: $RX1day_{\Box} = \max(RR_{i\Box})$ .	mm
<b>RX5day</b>	Máxima precipitación en 5 días consecutivos	Sea $RR_{\Box\Box}$ la precipitación acumulada en el intervalo de 5 días $k$ del período $j$ ( $k$ se identifica por el último día). Se define: $RX5day_{\Box} = \max(RR_{\Box\Box})$ .	mm
<b>SDII</b>	Índice de intensidad diaria simple	Sea $RRw_{\Box}$ la precipitación diaria en los días húmedos ( $RR \geq 1 \text{ mm}$ ) del período $j$ y $W$ el número de esos días. Se define: $SDII_{\Box} = \Sigma(RRw_{\Box}) / W$ .	mm/día
<b>R10mm</b>	Días con precipitación $\geq 10$ mm	Número de días en el período $j$ con $RR_{i\Box} \geq 10$ mm.	días
<b>R20mm</b>	Días con precipitación $\geq 20$ mm	Número de días en el período $j$ con $RR_{i\Box} \geq 20$ mm.	días
<b>Rnnmm</b>	Días con precipitación $\geq$ umbral definido por el usuario	Número de días en el período $j$ con $RR_{i\Box} \geq nn$ mm, donde $nn$ es un umbral elegido por el usuario.	días
<b>CDD</b>	Máxima racha de días secos consecutivos	Longitud máxima de la secuencia de días consecutivos en el período $j$ con $RR_{i\Box} < 1$ mm.	días
<b>CWD</b>	Máxima racha de días húmedos consecutivos	Longitud máxima de la secuencia de días consecutivos en el período $j$ con $RR_{i\Box} \geq 1$ mm.	días
<b>R95pTOT</b>	Precipitación debida a días muy húmedos ( $>$ percentil 95)	Sea $RRw_{\Box}$ la precipitación diaria en los días húmedos del período $j$ y $RRw_{\Box}^{95}$ el percentil 95 de la precipitación en días húmedos del período base $n$ (p.ej., 1961–1990). Se define: $R95pTOT_{\Box} = \Sigma(RRw_{\Box})$ para $RRw_{\Box} > RRw_{\Box}^{95}$ .	mm
<b>R99pTOT</b>	Precipitación debida a días extremadamente húmedos ( $>$ percentil 99)	Igual que el anterior, pero usando $RRw_{\Box}^{99}$ , el percentil 99 del período base: $R99pTOT_{\Box} = \Sigma(RRw_{\Box})$ para $RRw_{\Box} > RRw_{\Box}^{99}$ .	mm
<b>PRCPTOT</b>	Precipitación total en días húmedos ( $\geq 1$ mm)	Sea $RRw_{\Box}$ la precipitación diaria en los días húmedos ( $RR \geq 1 \text{ mm}$ ) del período $j$ . Se define: $PRCPTOT_{\Box} = \Sigma(RRw_{\Box})$ .	mm

**Tabla 1:** Definición de los índices de las precipitaciones

Los índices calculados incluyen tanto medidas de intensidad y acumulación (como Rx1day, Rx5day, PRCPTOT, SDII) como de frecuencia de días húmedos y secos (R10mm, R20mm, CWD, CDD). En conjunto, ofrecen una visión integral del régimen de precipitación y su posible modificación a lo largo del registro.

### 3.1. Detección de tendencias

Para la estimación de la presencia de tendencias en las series de tiempo calculados, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall, que establece la hipótesis nula  $H_0$ : los datos de una serie de tiempo son independientes e idénticamente distribuidos y la hipótesis alternativa  $H_1$ : la serie tiene tendencia positiva o negativa.

Además, para cuantificar la magnitud de la tendencia, se aplicó el estimador de pendiente de Theil-Sen, que corresponde a la mediana de todas las pendientes posibles entre pares de observaciones. Este método es robusto frente a valores atípicos y complementa la interpretación del test de Mann-Kendall.

### 3.2 Modelado mediante regresión lineal múltiple

Con el propósito de analizar las relaciones entre distintos índices de precipitación extrema y comprender los factores que influyen en su variabilidad, se aplicaron modelos de regresión lineal múltiple. Este tipo de modelo permite estudiar cómo una variable dependiente (en este caso, un índice de precipitación) puede ser explicada a partir de la combinación lineal de varios predictores, evaluando simultáneamente la influencia relativa de cada uno.

Se seleccionaron tres índices representativos de distintos aspectos del régimen de precipitación para ser modelados como variables dependientes:

- **Rx1day:** representa la intensidad de los eventos de precipitación extrema, al considerar el valor máximo diario de precipitación en el año.
- **PRCPTOT:** refleja la cantidad total anual de precipitación.
- **CWD:** indica la persistencia o duración de los eventos húmedos consecutivos.

Cada uno de estos índices captura un componente esencial del comportamiento de la lluvia (intensidad, cantidad y duración), lo que permite abarcar de manera integral las distintas dimensiones asociadas a las precipitaciones extremas. Como variables explicativas se consideraron el resto de los índices de precipitación disponibles, buscando identificar qué combinaciones resultan más determinantes para cada aspecto.

Al analizar los índices de precipitación, se observó que muchos de ellos presentan alta correlación entre sí. Este fenómeno, conocido como multicolinealidad, puede distorsionar los resultados de una regresión lineal múltiple, ya que dificulta estimar correctamente el efecto individual de cada predictor. Por eso, para mitigar este problema, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre las variables explicativas.

El PCA es una técnica estadística de reducción de la dimensionalidad que transforma un conjunto de variables correlacionadas en un nuevo conjunto de componentes principales mutuamente independientes, que conservan la mayor parte de la varianza del sistema original.

De esta manera, los modelos de regresión se ajustaron utilizando estos componentes principales en lugar de los índices originales, asegurando así una estructura de variables no correlacionadas y evitando sesgos en la estimación de los coeficientes.

Para garantizar la elección del mejor modelo, se desarrolló un algoritmo que automatiza el proceso de búsqueda del mejor ajuste posible para cada índice dependiente. El procedimiento consistió en:

1. Definir la variable dependiente (Rx1day, PRCPTOT o CWD)
2. Seleccionar una combinación posible de índices explicativos, excluyendo el índice actualmente modelado.
3. Aplicar PCA sobre las variables explicativas seleccionadas, variando el número de componentes utilizados (de 1 a 3).
4. Ajustar un modelo de regresión lineal múltiple utilizando los componentes principales como predictores.
5. Calcular las métricas de desempeño del modelo, que incluye coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y coeficiente de correlación ( $r$ ).
6. Compara el coeficiente de determinación con el mejor obtenido al momento. Si es así, actualiza el registro del mejor modelo.
7. Si quedan combinaciones de índices por probar, vuelve al paso 2.
8. Si quedan variables dependientes por definir, vuelve al paso 1.

De esta manera podemos identificar para cada variable de interés las combinaciones de índices más relevantes y los modelos más robustos desde el punto de vista estadístico.

## 4. Resultados

### 4.1 Detección de tendencias

Los índices de precipitación (ETCCDI), calculados a partir de la serie diaria y agregados a escala anual y estacional (1961–2024), fueron analizados mediante los tests de Mann–Kendall y Theil–Sen. Los resultados en general mostraron una ausencia de tendencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

Estos resultados se sustentan en la literatura científica regional, que señala que, aunque el sudeste de Sudamérica presenta una de las mayores tasas de incremento en los extremos de precipitación (Skansi et al., 2013; [IPCC AR6. Chapter 11](#)), la magnitud y significancia de dichas tendencias pueden variar localmente, lo cual concuerda con la ausencia de cambios significativos detectados en este estudio.

En la tabla 2 se puede observar un aumento en la mayoría de los indicadores asociados a eventos de precipitación moderada e intensa (por ejemplo, RX1day, RX5day, R10mm y R20mm), junto con una reducción en los índices de sequía (CDD y CWD). Estas variaciones reflejan una ligera intensificación de los eventos lluviosos y una disminución en la duración de los períodos secos, aunque, en concordancia

con los resultados de tendencia, ninguno de estos cambios alcanza significancia estadística, sugiriéndose que se mantienen dentro de la variabilidad natural del régimen pluviométrico local.

Índices	Períodos		Diferencia Porcentual (%)
	1961 - 1990	1991 - 2020	
<b>RX1day</b>	155.10	181.00	16.69
<b>RX5day</b>	203.80	230.50	13.10
<b>SDII</b>	14.56	15.22	4.58
<b>R10mm</b>	944.00	1003.00	6.25
<b>R20mm</b>	473.00	552.00	16.70
<b>CDD</b>	55.00	41.00	-25.45
<b>CWD</b>	10.0	7.0	-30.0
<b>R95pTOT</b>	6962.20	7876.30	13.12
<b>R99pTOT</b>	2209.40	1983.00	-10.24
<b>PRCPTOT</b>	29836.90	32156.10	7.77

**Tabla 2:** Valores medios estimados de los índices de las precipitaciones para los dos periodos base junto a su diferencia porcentual

Para un análisis a escala estacional, se confeccionaron 4 tablas donde se calcularon las medias para cada índice en el periodo base dado, y se calcularon las diferencias porcentuales.

En la tabla 3 puede verse que el verano muestra un incremento generalizado en la precipitación total y en los eventos extremos (R95pTOT, R99pTOT) y que disminuye la duración de las secuencias húmedas (CWD), indicando lluvias más intensas pero no más concentradas. El Rx5day aumenta notablemente, reforzando esta idea.

Índice	Períodos		Diferencia porcentual (%)
	1961-1990	1991-2020	
<b>PRCPTOT</b>	8337.2	9527.1	14.27
<b>SDII</b>	15.42	16.59	+7.61
<b>CWD</b>	9	6	-33.33
<b>CDD</b>	33	33	0.00

<b>R10mm</b>	268	285	+6.34
<b>R20mm</b>	130	153	+17.69
<b>R40mm</b>	47	63	+34.04
<b>R95pTOT</b>	2168.1	3441.7	+58.74
<b>R99pTOT</b>	675.5	1007.5	+49.15
<b>Rx1day</b>	148.6	117.0	-21.27
<b>Rx5day</b>	182.5	230.5	+26.30

**Tabla 3:** Valores medios estimados de los índices de las precipitaciones para los dos periodos base y su diferencia porcentual en estación de verano.

En la tabla 4, se puede ver que en el otoño se tiene un leve aumento en la precipitación total y en la frecuencia de lluvias moderadas (R10mm, R20mm), pero los eventos más extremos (R95pTOT, R99pTOT) disminuyen. Las secuencias húmedas se acortan, lo que podría indicar lluvias más intermitentes.

Índice	Períodos		Diferencia Porcentual (%)
	1961-1990	1991-2020	
<b>PRCPTOT</b>	7828.9	8513.5	+8.74
<b>SDII</b>	15.82	16.21	+2.49
<b>CWD</b>	10	7	-30.00
<b>CDD</b>	48	37	-22.92
<b>R10mm</b>	229	250	+9.17
<b>R20mm</b>	118	156	+32.20
<b>R40mm</b>	44	51	+15.91
<b>R95pTOT</b>	2530.3	1921.7	-24.05
<b>R99pTOT</b>	845.4	630.0	-25.48
<b>Rx1day</b>	155.1	181.0	+16.70
<b>Rx5day</b>	196.5	196.2	-0.15



**Tabla 4:** Valores medios estimados de los índices de las precipitaciones para los dos periodos base y su diferencia porcentual en estación otoño.

El invierno evidencia un incremento de la intensidad y frecuencia de eventos extremos, sobre todo en lluvias fuertes (R40mm, R95pTOT), tal como puede comprobarse observando la tabla 5. Además, aumentan las secuencias húmedas (CWD) y disminuyen las secas (CDD). Esto sugiere un invierno más húmedo y activo.

Índice	Períodos		Diferencia Porcentual (%)
	1961-1990	1991-2020	
PRCPTOT	5354.0	6085.4	+13.66
SDII	11.61	13.84	+19.23
CWD	5	7	+40.00
CDD	45	39	-13.33
R10mm	183	192	+4.92
R20mm	77	106	+37.66
R40mm	16	33	+106.25
R95pTOT	582.4	1165.9	+100.19
R99pTOT	0	166.5	— (nuevo evento extremo)
Rx1day	79	84.5	+6.96
Rx5day	134.4	159.0	+18.30

**Tabla 5:** Valores medios estimados de los índices de las precipitaciones para los dos periodos base y su diferencia porcentual en estación invierno.

Por último, en base a lo observado en la tabla 6, la primavera muestra una disminución generalizada en la precipitación total y en los extremos, con reducciones fuertes en R99pTOT y Rx5day. Se mantiene la duración de periodos secos, lo que podría indicar una transición hacia primaveras más secas y menos intensas.

Índice	Períodos		Diferencia Porcentual (%)
	1961-1990	1991-2020	
PRCPTOT	8316.8	8030.1	-3.45

Índice	Períodos		Diferencia Porcentual (%)
	1961-1990	1991-2020	
SDII	15.05	14.02	-6.87
CWD	8	6	-25.00
CDD	33	33	0.00
R10mm	264	276	+4.55
R20mm	148	137	-7.43
R40mm	41	36	-12.20
R95pTOT	1681.4	1347.0	-19.89
R99pTOT	688.5	179.0	-74.00
Rx1day	133	94	-29.32
Rx5day	203.8	135.5	-33.51

**Tabla 6:** Valores medios estimados de los índices de las precipitaciones para los dos periodos base y su diferencia porcentual en estación primavera.

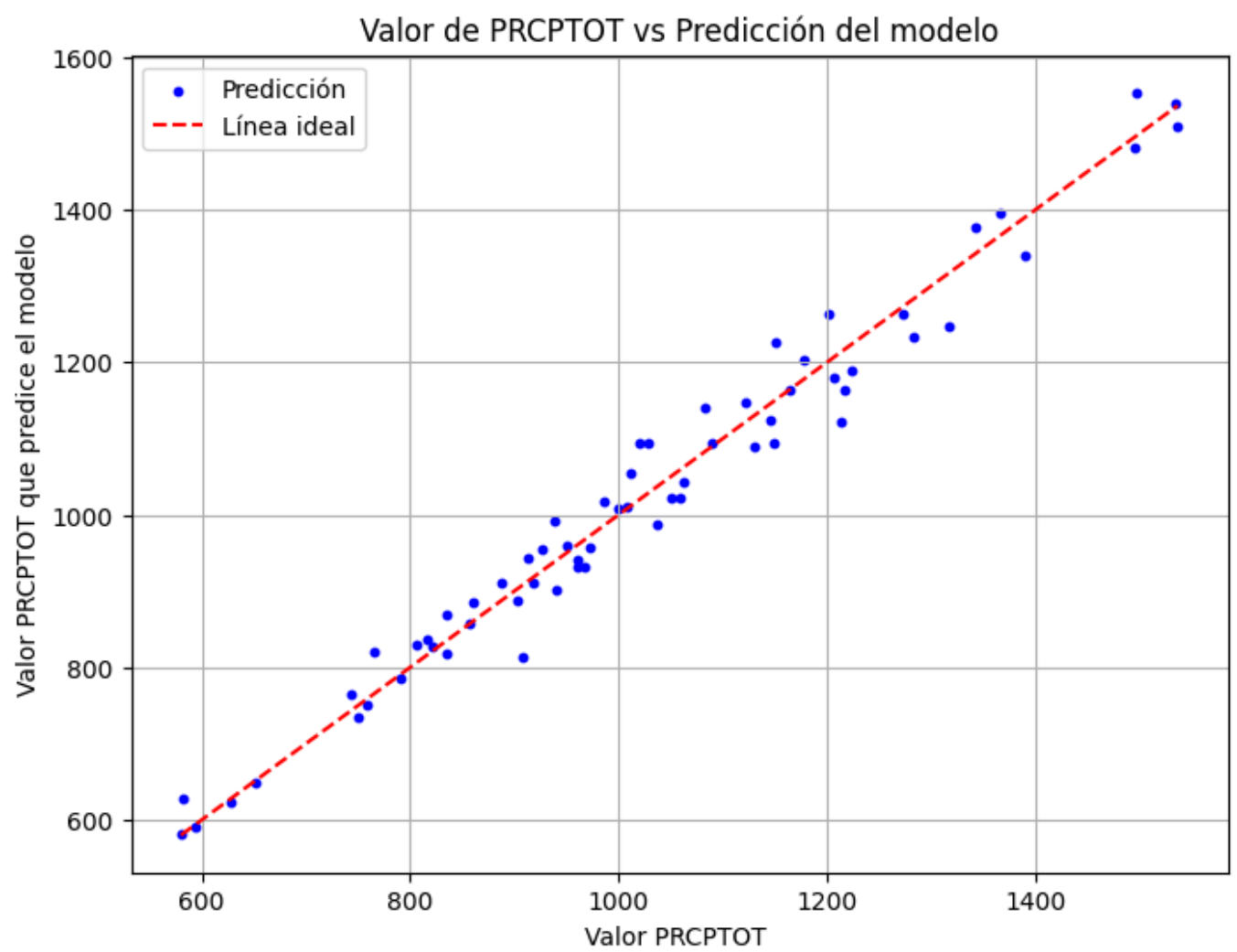
#### 4.1. Modelado mediante regresión lineal múltiple

El modelo de regresión lineal múltiple para PRCPTOT se construyó a partir de las variables: R10mm, R20mm, R40mm, R95pTOT, R99pTOT y Rx1day, empleando tres componentes principales como predictores. La ecuación del modelo obtenida es la siguiente:

$$PRCPTOT = 1021.73 + 113.56 * PC1 - 53.83 * PC2 + 42.24 * PC3; \text{ con } R^2 = 0.97 \text{ y } r = 0.98$$

Variable	PC1	PC2	PC3
R10mm	0.385	-0.416	0.562
R20mm	0.429	-0.338	0.285
R40mm	0.444	-0.259	-0.554
R95pTOT	0.483	0.063	-0.469
R99pTOT	0.356	0.544	0.225
Rx1day	0.333	0.588	0.159

**Tabla 7:** Cargas de las variables originales sobre los tres primeros componentes principales obtenidos a partir de los índices de precipitación seleccionados para el modelado de PRCPTOT.



**Figura 1:** Relación entre los valores observados y los valores predichos por el modelo de regresión lineal múltiple aplicado al índice PRCPTOT.

En la tabla 7 se puede observar que el primer componente principal (PC1) muestra cargas positivas relativamente uniformes entre las variables, destacándose R95pTOT y R40mm, lo que sugiere que PC1 representa un patrón general de cantidad de precipitación asociado a eventos moderados y extremos. El segundo componente (PC2) presenta contrastes entre Rx1day, R99pTOT (cargas positivas) y R10mm, R20mm (cargas negativas), diferenciando entre eventos extremos puntuales y precipitaciones más frecuentes pero de menor intensidad. El tercer componente (PC3) diferencia particularmente R40mm y R95pTOT, lo que podría relacionarse con episodios de alta intensidad pero duración limitada.

En cuanto al modelo, este presenta un alto poder explicativo ( $R^2 = 0.97$ ), indicando que los tres componentes principales capturan gran parte de la variabilidad de PRCPTOT. El coeficiente positivo de PC1 confirma que un aumento general en los días con lluvia intensa y eventos extremos incrementa la precipitación total anual, mientras que el signo negativo de PC2 sugiere que un predominio de eventos

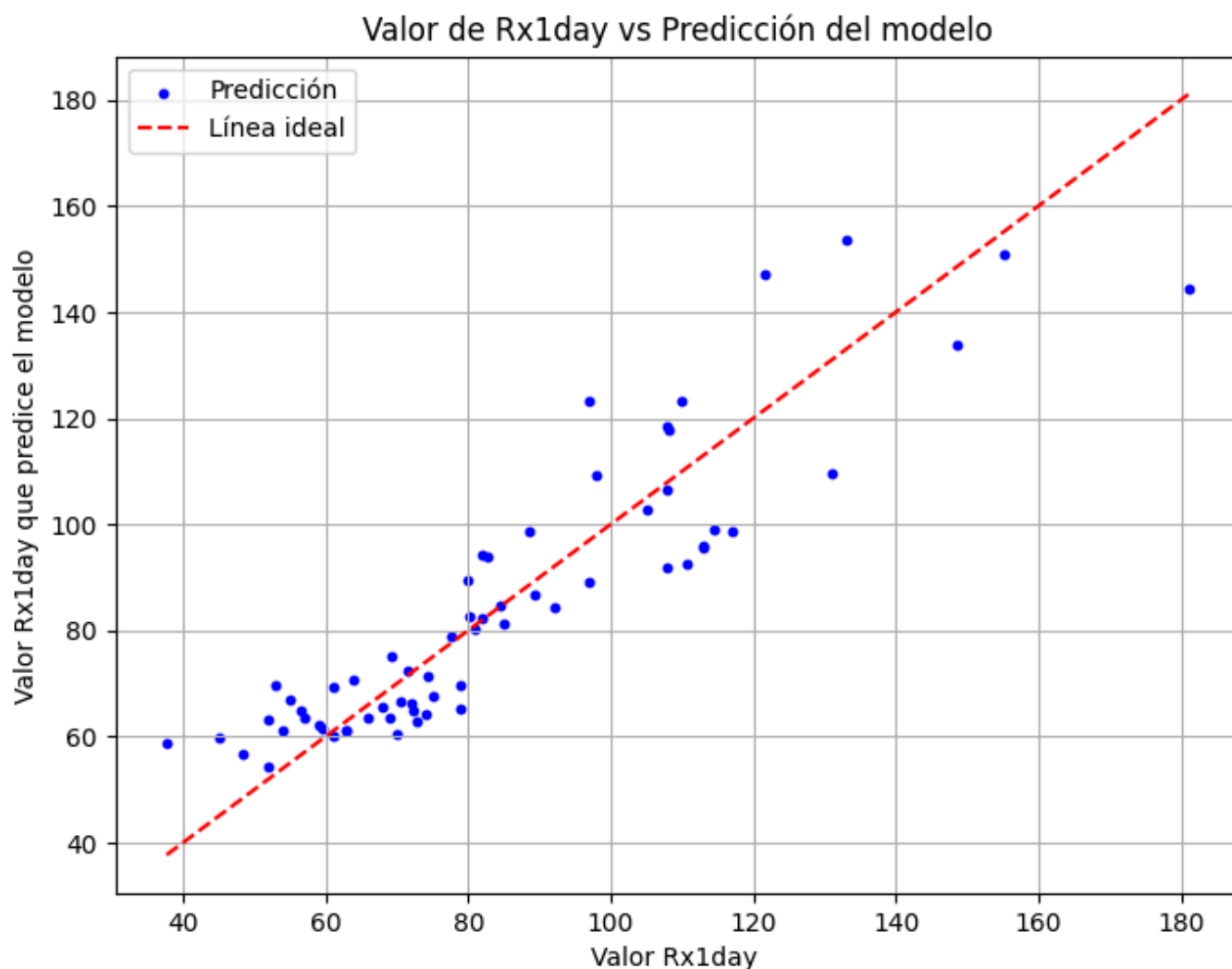
muy extremos frente a lluvias moderadas puede disminuir ligeramente la acumulación total (posiblemente por menor frecuencia de eventos).

Para el índice Rx1day se obtuvo el siguiente modelo:

$$Rx1day = 84.47 + 7.61 * PC1 + 18.19 * PC2 - 9.62 * PC3; \text{ con } R^2 = 0.819 \text{ y } r = 0.902$$

Variable	PC1	PC2	PC3
PRCPTOT	0.420	-0.243	-0.015
SDII	0.398	-0.003	-0.306
R20mm	0.376	-0.450	-0.224
R40mm	0.397	-0.257	0.338
R95pTOT	0.422	0.076	-0.012
R99pTOT	0.287	0.676	-0.500
Rx5day	0.324	0.457	0.701

**Tabla 8:** Cargas de las variables originales sobre los tres primeros componentes principales obtenidos a partir de los índices de precipitación seleccionados para el modelado de Rx1day.



**Figura 2:** Relación entre los valores observados y los valores predichos por el modelo de regresión lineal múltiple aplicado al índice Rx1day.

En la tabla 8 se puede ver que el primer componente (PC1) refleja un patrón conjunto de intensidad y cantidad, con contribuciones altas de PRCPTOT, R95pTOT y R40mm, indicando un eje de variación general vinculado al volumen total de precipitación y a eventos moderadamente intensos. El segundo componente (PC2) distingue eventos extremos (R99pTOT, Rx5day) de precipitaciones moderadas (R20mm), representando así una dimensión de extremalidad. Por su parte, el tercer componente (PC3) presenta fuertes cargas opuestas entre Rx5day (positiva) y SDII (negativa), lo que podría interpretarse como una diferenciación entre eventos concentrados en pocos días y lluvias de intensidad media sostenida.

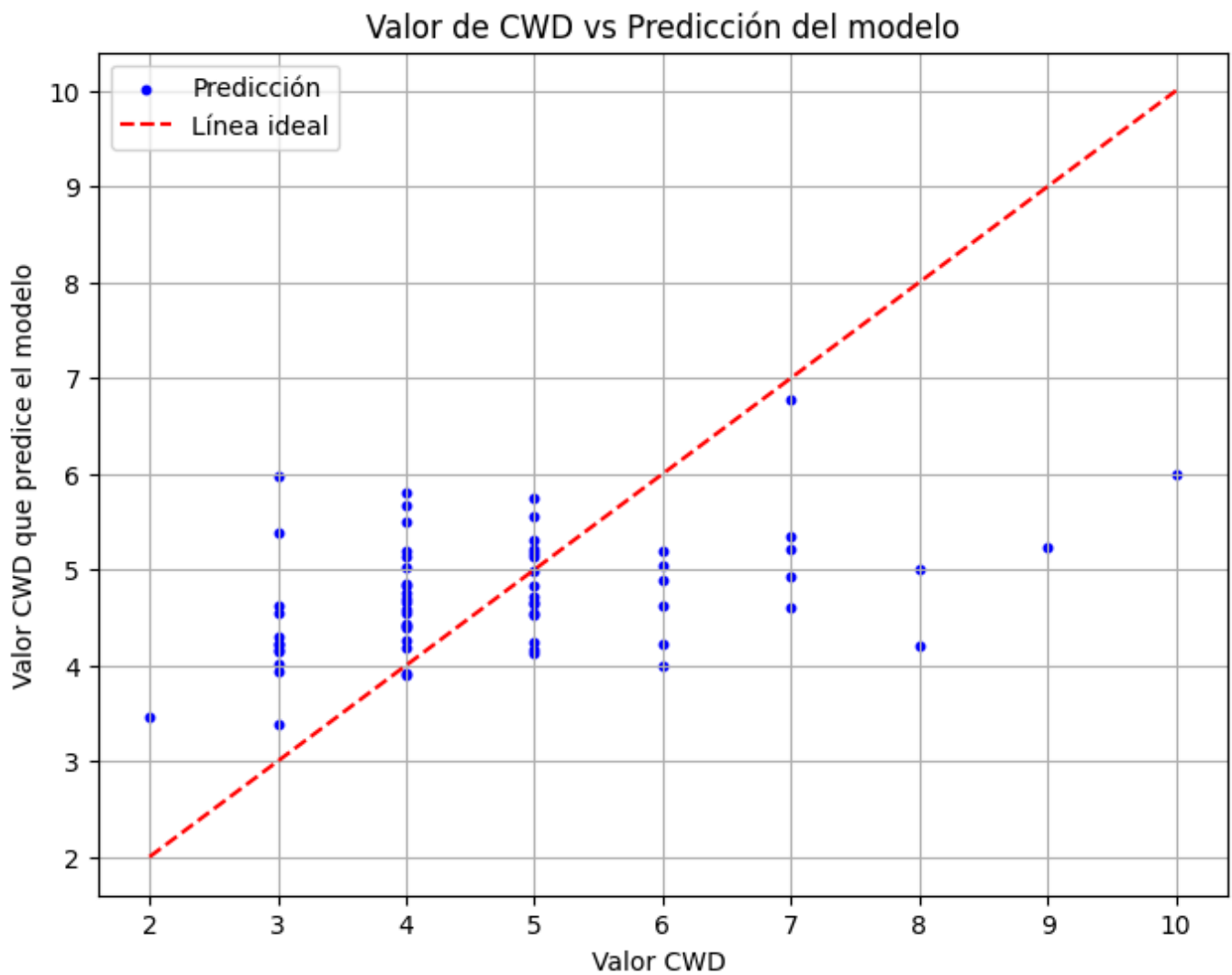
El modelo explica alrededor del 82% de la variabilidad del índice Rx1day, lo que sugiere una buena capacidad predictiva. El coeficiente positivo de PC2 indica que los eventos extremos influyen de manera directa sobre la máxima precipitación diaria, mientras que el coeficiente negativo de PC3 sugiere que la presencia de lluvias más repartidas o persistentes puede disminuir la magnitud del evento máximo diario.

Para el índice CWD se obtuvo el siguiente modelo de regresión lineal múltiple:

$$CWD = 4.75 + 0.16 * PC1 + 0.11 * PC2 + 1.09 * PC3; \text{ con } R^2 = 0.16 \text{ y } r = 0.36$$

Variable	PC1	PC2	PC3
SDII	0.536	-0.187	-0.422
R20mm	0.484	-0.563	0.658
R95pTOT	0.540	0.049	-0.484
Rx5day	0.431	0.803	0.393

**Tabla 9:** Cargas de las variables originales sobre los tres primeros componentes principales obtenidos a partir de los índices de precipitación seleccionados para el modelado de CWD.



**Figura 3:** Relación entre los valores observados y los valores predichos por el modelo de regresión lineal múltiple aplicado al índice CWD.

El primer componente (PC1) combina de manera positiva a todas las variables, reflejando un factor general de intensidad. El segundo componente (PC2) contrapone Rx5day frente a R20mm, diferenciando entre episodios extremos prolongados y lluvias intensas de corta duración, mientras que PC3 separa R20mm (positiva) de R95pTOT y SDII (negativas), asociado a un patrón de persistencia con lluvias moderadas.

El bajo valor de  $R^2$  (0.16) indica que la variabilidad del número de días consecutivos con precipitación significativa (CWD) no se explica adecuadamente a partir de los componentes derivados de índices de intensidad. Esto sugiere que la persistencia de la lluvia responde a procesos diferentes como por ejemplo, condiciones sinópticas o estacionales, que no se encuentran directamente relacionados con la magnitud de los eventos de precipitación intensa.

## 5. Conclusiones

La primera parte de los resultados mostró una ausencia general de tendencias estadísticamente significativas en los índices de precipitación para el período 1961–2024, de acuerdo con el test de Mann–Kendall. No obstante, la comparación entre los dos subperíodos (1961–1990 y 1991–2020) evidenció incrementos en la mayoría de los indicadores asociados a eventos moderados e intensos (como RX1day, RX5day, R10mm y R20mm), junto con descensos en la duración de los períodos secos (CDD). Estas variaciones sugieren una ligera intensificación de los eventos de precipitación y una mayor concentración de la lluvia en cortos lapsos de tiempo, particularmente en verano e invierno, aunque sin alcanzar significancia estadística. En su conjunto, estos resultados apuntan a un régimen pluviométrico que, si bien mantiene su variabilidad natural, podría estar mostrando señales incipientes de cambio hacia una distribución más irregular de las lluvias.

La segunda parte del trabajo, centrada en el análisis de regresión lineal múltiple y el uso complementario de componentes principales, mostró un buen desempeño de los modelos, especialmente para los índices asociados a la cantidad total e intensidad de la precipitación (PRCPTOT y RX1day). En estos casos, los altos valores del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.97$  y  $0.82$ , respectivamente) indican que los fenómenos pueden explicarse satisfactoriamente mediante combinaciones lineales de otros índices, revelando fuertes interdependencias entre las variables de intensidad y frecuencia de eventos extremos. Por el contrario, el índice CWD presentó un ajuste notablemente menor ( $R^2 = 0.16$ ), lo que sugiere que la persistencia de períodos húmedos responde a dinámicas más complejas o a factores no lineales no capturados por el modelo.

## Referencias

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press; 2023:1513-1766.
- Du, H. et al., 2019: Precipitation From Persistent Extremes is Increasing in Most Regions and Globally. Geophysical Research Letters, 46(11), 6041–6049, doi: 10.1029/2019gl081898.
- Dunn, R.J.H. et al., 2020: Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of

Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), e2019JD032263, doi: 10.1029/2019jd032263.

Sun, Q., X. Zhang, F. Zwiers, S. Westra, and L. Alexander, 2021: A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation. *Journal of Climate*, 34(1), 243–258, doi: 10.1175/jcli-d-19-0892.1.

Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A. K., and Peterson, T.: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Clim. Res.*, 19, 193–212, 2002.

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin, B., and Zwiers, F. W.: Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data, *WIREs Clim. Change*, 2, 851–870, 2011.

Barros, Vicente Ricardo; Boninsegna, Jose Armando; Camilloni, Ines Angela; Chidiak, Martina; Magrín, Graciela; et al.; *Climate change in Argentina: Trends, projections, impacts and adaptation*; Wiley; *WIREs Climate Change*; 6; 2; 3-2015; 151-169.

Cesanelli, A., & Ricetti, L. (2025). Análisis exploratorio de la variabilidad en baja frecuencia de la precipitación anual y estacional en La Plata Observatorio. *Geoacta*, 46(1), 67-71.