



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Cambio climático? Las lluvias extremas de 2020 a 2024 en Montevideo

Pablo Guido (*)

Intendencia de Montevideo – Departamento de Desarrollo Ambiental- División Saneamiento. Servicio de Estudios y Proyectos de Saneamiento. Directora de Unidad Proyectos

Cecilia Emanuelli

Intendencia de Montevideo – Departamento de Desarrollo Ambiental- División Saneamiento. Servicio de Estudios y Proyectos de Saneamiento.

Marcos Lisboa

Intendencia de Montevideo – Departamento de Desarrollo Ambiental- División Saneamiento. Servicio de Estudios y Proyectos de Saneamiento.



TEMA1: Efluentes domiciliarios e industriales y drenaje urbano: conducción, tratamiento, reúso y gestión. Normativa.

Rambla República de Chile 4427/503(*): Montevideo – Montevideo– Uruguay -
Tel.:099263069 – e-mail: soniapagalday@imm.gub.uy

RESUMEN

A la fecha existen diversos estudios nacionales e internacionales acerca de la magnitud de los incrementos esperados en la intensidad y volumen de precipitaciones extremas en Montevideo debido al cambio climático. Las tendencias incrementales de las precipitaciones son congruentes con los registros pluviométricos de Prado, en los que según el Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo (PDSDUM) se observa un aumento de la precipitación anual del 20% en 120 años.

Las proyecciones futuras muestran una tendencia positiva gradual con una ocurrencia creciente de eventos extremos (NAPCostas2021). Así mismo se tienen predicciones crecientes para el Uruguay en variables climáticas como la temperatura media anual, frecuencia de vientos extremos, y aumento del nivel medio del mar y del Río de la Plata, lo cual se prevé genere un impacto directo sobre las infraestructuras existentes de los servicios públicos y su capacidad de gestión por parte de las Instituciones competentes. Sin embargo, no es común encontrar predicciones o análisis para precipitaciones de corta duración (menos de una hora) como las que producen inundaciones importantes en Montevideo.

En este trabajo se presentan datos de precipitaciones extraordinarias recabados desde la instalación de la Red Hidrometeorológica de Montevideo en octubre de 2013 y se los compara con los estudios de lluvias históricas. Los datos muestran que desde 2020 se ha dado una sucesión de eventos con períodos de retorno del orden de 100 años o superiores que parecen ser indicio claro de un régimen de lluvias en el marco del cambio climático, en un contexto de temperaturas máximas récord en el planeta y de eventos extremos de inundación en el mundo y en la región.

Palabras Clave: Precipitaciones, Período de retorno, curvas idf, Inundaciones, eventos extremos, cambio climático.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

INTRODUCCIÓN

Montevideo enfrenta el desafío recurrente de las inundaciones, las cuales han afectado tanto áreas urbanas como suburbanas a lo largo de su historia. Los sistemas de drenaje existentes, muchos de los cuales datan del siglo pasado, han demostrado ser insuficientes frente a los eventos de lluvias extremas recientes. En este contexto, se vuelve imprescindible analizar cómo han cambiado las precipitaciones en Montevideo y qué medidas se deben tomar para garantizar la seguridad de la población frente a estos fenómenos naturales.

Este artículo explora los estudios realizados sobre las precipitaciones en Montevideo, incluyendo el trabajo pionero del Plan Maggiolo de 1920, las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) desarrolladas por Gianonni en 1937, y las versiones más recientes de estas curvas, como las definidas en el Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo (PDSDUM). Asimismo, se describen los eventos de lluvias más recientes y las medidas tomadas para mitigar sus efectos.

OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es analizar los eventos de lluvias extraordinarias en Montevideo durante el período 2014-2024, evaluando su impacto en la población y la infraestructura.

ALCANCE

Este estudio abarca el análisis de los eventos de lluvias extremas registrados en Montevideo desde 2014 hasta 2024, con énfasis en los eventos con períodos de retorno de 50 años o más. Se examinan los efectos de estos eventos sobre la infraestructura urbana y se discuten las posibles medidas de mitigación necesarias para reducir los riesgos asociados a las lluvias extremas.

MARCO CONCEPTUAL

Según el Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo (PDSDUM), la población expuesta a inundaciones en el departamento es superior a 20.000 habitantes para eventos de inundación de 2 años de recurrencia y superior a 110.000 habitantes para eventos de inundación de 100 años de recurrencia. Al considerar fenómenos con diferentes períodos de retorno, la población media anual en riesgo de inundaciones se estima en 26 mil personas. Las afectaciones varían en severidad, desde la inundación leve de calzadas que afecta temporalmente el tránsito peatonal y vehicular, hasta la inundación de viviendas y vías de tránsito, con profundidades de agua que pueden alcanzar un metro o más. La generación de torrentes es un fenómeno poco frecuente en la región.

En Montevideo, los principales cursos de agua son el Arroyo Miguelete, con una cuenca de 11 mil hectáreas, y el Arroyo Pantanoso, con una cuenca de 6 mil hectáreas. Las cuencas de los arroyos que atraviesan el área urbana no superan las 1000 hectáreas, lo que implica que las inundaciones suelen producirse durante lluvias de corta duración, de algunas horas en los grandes arroyos, y de menos de una hora en las áreas urbanas.

Desde principios del siglo XX, uno de los principales retos de la ingeniería local ha sido diseñar sistemas de drenaje que minimicen la exposición de la población a riesgos innecesarios. Para el Plan Maggiolo de 1920 se adaptó a la realidad local la fórmula norteamericana de McMath, utilizando los escasos datos disponibles en aquel entonces. Sin embargo, pronto se observó que los sistemas diseñados con esta fórmula eran insuficientes para las zonas medias y bajas de las cuencas urbanas. En 1937, Gianonni introdujo el método racional y desarrolló las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) para Montevideo, utilizando 28 años de datos, lo que permitió una corrección significativa en los cálculos y los sistemas de drenaje diseñados a partir de ese momento tuvieron mejores resultados.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Con el tiempo, se han revisado y realizado varias versiones de las curvas IDF. Entre los estudios más destacados se encuentra el de Rodríguez Fontal, que basó su trabajo en datos de lluvias recolectados entre 1906 y 1977. Este estudio fue una referencia fundamental durante los años 80 y 90. En los análisis históricos de lluvias, se ha observado un incremento del 20% en la precipitación anual desde 1900. Sin embargo, pese a que se buscaron indicios de cambio en el comportamiento de este tipo de eventos, no se constató un aumento significativo en las precipitaciones máximas de corta duración en ninguno de los dos estudios realizados en la década pasada con datos que llegaban hasta 2005.

En primer estudio se llevó a cabo en 2012 y 2013 por la Facultad de Ingeniería, bajo el título “Estudios de base y asesoramiento para la actualización del Plan Director de Saneamiento de Montevideo”, financiado en el marco del Préstamo Complementario al PSU IV, que abordó los problemas de inundaciones urbanas. Este estudio actualizó las curvas IDF, basándose en los datos de Rodríguez Fontal y en registros de pluviómetros activos hasta 2005, año en que la estación del Prado dejó de operar. También se analizó la posible influencia del cambio climático global sobre las curvas IDF, sugiriendo considerar un aumento del 10% en las intensidades de precipitación comparado con los valores previos.

En la Tabla a continuación se presentan las precipitaciones en mm para diferentes duraciones y períodos de retorno:

Precipitación en mm para las diferentes duraciones y períodos de retorno

| Duración (min) | TR 2 años | TR 5 años | TR 10 años | TR 20 años | TR 25 años | TR 50 años | TR 100 años | Valores anómalos |
|----------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------------|
| 10 | 15 | 19 | 22 | 25 | 26 | 28 | 31 | 31 |
| 20 | 20 | 26 | 30 | 34 | 36 | 40 | 44 | 48 |
| 30 | 25 | 33 | 39 | 44 | 46 | 51 | 56 | 53 |
| 60 | 33 | 44 | 50 | 57 | 59 | 65 | 71 | 69 |
| 120 | 44 | 57 | 66 | 74 | 77 | 85 | 93 | 102 |
| 180 | 51 | 67 | 78 | 88 | 91 | 101 | 111 | 120 |
| 360 | 65 | 86 | 100 | 113 | 117 | 129 | 142 | 132 |
| 720 | 80 | 107 | 124 | 140 | 145 | 162 | 178 | 174 |
| 1440 | 94 | 125 | 145 | 165 | 171 | 190 | 209 | 216 |

En 2015, el PDSUM continuó con un análisis exhaustivo de los estudios de 2013. Los expertos consideraron improbable que no se hubieran detectado cambios significativos en el régimen de precipitaciones extremas, por lo que realizaron una revisión exhaustiva de dicho estudio. El análisis concluyó que:

*Teniendo en cuenta el horizonte de diseño de esta actualización del Plan Director de Saneamiento y Drenaje de Montevideo y las recomendaciones surgidas de la experiencia internacional, **se adopta en este trabajo, un incremento de precipitaciones del orden de 10% para considerar el efecto del cambio climático al año 2050.** Este incremento, aplicado a las intensidades máximas calculadas para distintas duraciones y para cada recurrencia establece un aumento de la precipitación total que es congruente con las tendencias observadas en la estación Prado donde se ha observado un incremento de 20% durante 120 años de registro.*

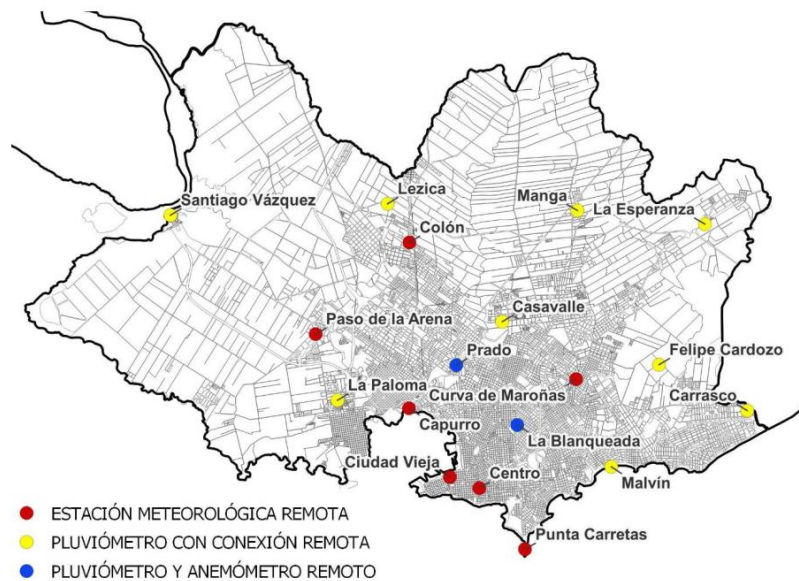
El estudio del PDSUM concluyó con la recomendación de incrementar en un 10% los valores de precipitación estimados en el estudio de la Facultad de Ingeniería. El informe final del Plan Director

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
fue presentado en octubre de 2019.

En 2013, se instaló la Red Hidrometeorológica de Montevideo (RHM), la cual ha permitido un monitoreo detallado de la distribución y características de las tormentas, especialmente aquellas de corta duración que generan inundaciones en la ciudad. Desde 2005, el Servicio de Estudios y Proyectos de Saneamiento ha documentado de manera continua los eventos de inundación, cruzando estos datos con las mediciones de los sistemas de compuertas y los tanques de amortiguación, lo que ha mejorado la precisión en la evaluación de los impactos. En la figura a continuación se presenta la ubicación de los equipos de medición.

Figura 1 Red hidrometeorológica de Montevideo



METODOLOGÍA

Los datos utilizados en este estudio provienen de la Red Hidrometeorológica de Montevideo (RHM), instalada en 2013, así como de estudios históricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Los eventos de lluvia se analizaron en función de su duración, intensidad y período de retorno, utilizando las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) y comparando los valores obtenidos con los registros históricos. Además, se ha evaluado la capacidad de los sistemas de drenaje para enfrentar estos eventos y se ha analizado el impacto del cambio climático en la frecuencia y severidad de las lluvias.

RESULTADOS

Análisis de los eventos de lluvias extremas (2014 – 2024)

Tras la instalación de la Red Hidrometeorológica de Montevideo (RHM) en octubre de 2013, se registraron varios eventos de precipitaciones significativos que provocaron inundaciones en diversas áreas de la ciudad. Entre febrero de 2014 y enero de 2015, se observaron cuatro eventos de lluvias características diferentes, con períodos de retorno de 2, 5 y hasta 20 años, afectando distintas zonas de Montevideo con características hidrológicas disímiles.

En el período comprendido entre 2014 y 2019, se registraron 25 eventos de inundaciones asociados a 23 lluvias con un período de retorno superior a 2 años. A continuación, se destacan los eventos más significativos en términos de magnitud e impacto, clasificados por la severidad del período de retorno y la precipitación máxima registrada.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
Tabla 1 Listado de tormentas severas entre 2014 y 2024

| Tormenta Severa | TR (años) | Duración TR | Pmax (mm) | Pluviómetro c/Pmax | Observaciones/comentarios |
|-----------------|-----------|-------------|-----------|--------------------|--|
| 07/02/14 | TR5 | 6 hs | 109 | Curva de Maroñas | Inundaciones en los arroyos Pantanoso, Miguelete y Mendoza |
| 25/09/14 | TR2 | 20 min | 41 | Prado | Lluvia acompañada de granizo, se produjeron inundaciones en los arroyos entubados de la zona central y costera |
| 03/11/14 | TR2 | 24 hs | 108 | Paso de la Arena | La lluvia abarcó todo el Departamento, con mayores intensidades en zonas Centro y Oeste. Inundaciones leves en la zona central, costera y Peñarol |
| 26/12/14 | TR20 | 1 hs | 77 | Centro | Lluvia fuerte en la franja costera del Departamento. Asturias y Verdi: se inundó, superando la protección del tanque de amortiguación del Diamantis. REVISAR |
| 28/01/15 | TR2 | 30 min | 51 | Curva de Maroñas | Inundaciones leves en Los Migueletes, Avda. Italia y Rambla. |
| 18/03/18 | TR50 | 20 min | 215 | Villa García | Inundaciones en los arroyos entubados de la zona central y costera, arrollo del Cerrito, Mataperros, Arroyo el Molino, Cañada Bellaca, Cañada Iyúí, Arroyo Chacarita, Cañadas 2 y 3 de Cerro Norte, entre otras. |
| 28/04/18 | TR10 | 30 min | 144 | Centro | Inundaciones en el Buceo, Ciudad Vieja y Cerro. |
| 17/02/20 | TR100 | 20 min | 52.6 | Malvín | Importantes inundaciones en arroyos: Los Migueletes Pocitos, de los Chanchos, de Pintos (Buceo), Quitacalzones y Arroyo Seco.. |
| 02/12/20 | TR50 | 30 min | - | - | Lluvia que impactó en la zona de Carrasco durante la noche. |
| 17/01/22 | >TR100 | < 2 hs | - | Felipe Cardoso | Lluvia sin precedentes en Montevideo y parte de Canelones. Superó los valores históricos registrados, así como las escalas calculadas por la Facultad de Ingeniería. En varios puntos del territorio más que duplicó las lluvias de diseño de los sistemas y por lo tanto en la zona afectada colectores y canales desbordaron dando lugar a escorrentías en superficie con velocidades y alturas de agua variables según la topografía del lugar. En la zona costera de Carrasco, Punta Gorda y Malvín se dieron inundaciones inéditas con los consiguientes impactos sobre las edificaciones y los bienes. |
| 17/08/23 | TR50 | 6 hs | 176 | Villa García | Tormenta importante en gran parte del departamento, pero sobre todo para cuencas de arroyos de mediano a gran porte de la cuenca del Arroyo Carrasco y Cañada Iyúí. La marea alcanzó +2.00 Wharton durante la tormenta. |
| 01/12/23 | TR100 | 1 hs | 118 | Santiago Vázquez | Se registraron inundaciones en las zonas centrales y costeras: Los Migueletes, Pocitos, Carrasco, Arroyo Seco, Mataperros, de los Chanchos y de Pintos. |
| 02/03/24 | TR100 | < 1hs | 61.5 | Carrasco | La intensidad de la lluvia para 30 min fue elevada. La lluvia generó problemas en instalaciones sanitarias y efectos locales de inundación por bocas de tormenta superadas. Se inundaron las cuencas de los arroyos entubados del departamento, como el arroyo Pocitos, de Pintos, Los Migueletes, entre otros. |
| 12/03/24 | TR10 | <3hs | 98 | Malvín | La tormenta afectó varios puntos del departamento: Los Migueletes, Jesús María, Arroyo Seco, Casavalle,. |

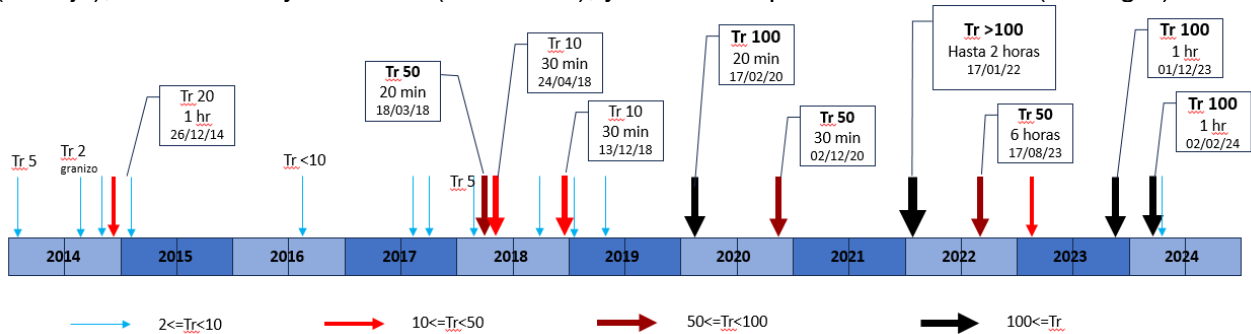
Estos eventos de lluvias severas exhiben variaciones significativas tanto en la duración como en la magnitud de las precipitaciones. Otros eventos, como el del 17 de febrero de 2020, presentaron un período de retorno superior a 100 años, con impactos severos en las cuencas del Arroyo Miguelete, Pocitos, de los Chanchos y Quitacalzones.

La figura a continuación muestra una representación cronológica de los eventos de lluvias extremas registrados en Montevideo entre 2014 y 2024, clasificados por su período de retorno (TR). Los eventos se agrupan en diferentes intervalos: TR entre 2 y 10 años (en azul), TR entre 10 y 50 años



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
(en rojo), TR entre 50 y 100 años (en marrón), y eventos superiores a 100 años (en negro).



Si bien se tienen 10 años de datos, se observa que se registraron 4 tormentas con 100 años de periodo de retorno o mayor y 2 con 50 años de periodo de retorno, repitiéndose en varios casos en los mismos pluviómetros. Esto es particularmente alarmante porque, según los cálculos tradicionales de los periodos de retorno, estos eventos deberían ocurrir de manera mucho más espaciada en el tiempo.

Impacto de las tormentas extremas en la población e infraestructura urbana

A continuación, se describen los impactos de los cuatro eventos de precipitación que superaron los 100 años de período de retorno, así como sus efectos sobre la población y la infraestructura en Montevideo.

17 de febrero de 2020

Este evento marcó la primera vez que la Red Hidrometeorológica de Montevideo (RHM) registró una lluvia con un período de retorno superior a los 100 años en una duración corta. La precipitación fue variable, con una duración total de 25 minutos. El Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) registró una precipitación máxima de 31 mm y una media de 28 mm en todo Montevideo. Los pluviómetros de la RHM registraron entre 11 y 51 mm de precipitación, con períodos de retorno que variaron desde los 2 años hasta más de 100 años en diferentes zonas. En Malvín, el evento superó claramente los 100 años de período de retorno, mientras que en Colón se observó un rango entre 50 y 100 años.

Este evento provocó inundaciones significativas en las cuencas de los arroyos Pocitos, de los Chanchos, del Buceo y La Estanzuela. En particular, el tanque de amortiguación de Diamantis se vio desbordado, lo que resultó en graves inundaciones en viviendas y en la calzada de la calle Asturias entre Verdi y la Rambla. Los vecinos describieron este evento como las inundaciones más grandes experimentadas en la zona hasta la fecha.

Se registraron inundaciones importantes en la cuenca del Arroyo de los Chanchos, siendo el punto más impactado la intersección de Bulevar Batlle y Ordóñez y Ramón Anador. Asimismo, en la cuenca del Arroyo Pocitos, varias intersecciones y calles principales quedaron completamente anegadas, afectando viviendas y vehículos. Zonas como Benito Blanco y Pagola, y Luis Lamas y La Gaceta, registraron altos niveles de agua, dejando autos flotando y el tránsito interrumpido. Establecimientos comerciales y zonas densamente urbanizadas, como el Supermercado Disco y el Shopping de Punta Carretas, también se vieron afectados.

En la cuenca del Arroyo Quitacalzones, el agua alcanzó las calzadas, pero no llegó a inundar las viviendas. Se registraron fenómenos hidráulicos violentos, como desbordes bruscos de tapas de alcantarillado, que fueron documentados en video. También se observó nuevamente el fenómeno del spray en el tanque de Quijote, aunque con menor envergadura que el evento registrado en septiembre de 2018. El tanque de Quijote operó a plena capacidad, mientras que no se obtuvieron datos del tanque del Liceo.

En el Arroyo Seco, se registraron inundaciones significativas en la zona baja, especialmente en las



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

áreas de Entre Ríos, Santa Fe y Zapicán. El tanque de Goes mantuvo un nivel de agua de al menos dos metros. Sin embargo, en las calles Cufre e Isla de Gorriti, el agua no llegó a invadir las calzadas. En la cuenca del Arroyo Mataperros, no se reportaron inundaciones, al igual que en las zonas de Peabody y Lezica.

Por último, en las intersecciones de La Paz y Rondeau, se produjeron desbordes. Según los datos del medidor de nivel de la compuerta de Rondeau y Galicia, se alcanzó una cota de +4 Wh, lo que sugiere la presencia de más de un metro de agua en ciertos puntos.

El 17 de enero de 2022

Entre las 4:30 y las 8:30, una tormenta de gran magnitud impactó Montevideo y parte de Canelones. La distribución de la lluvia fue irregular, afectando de manera severa las zonas centro y este de Montevideo. Durante una hora, se registraron lluvias de gran intensidad, con un total de entre 70 y 151 mm. INUMET reportó 102 mm en Prado y 108 mm en el Aeropuerto de Carrasco a las 7:00 de la mañana del lunes.

Los pluviómetros de la RHM que registraron la forma de la tormenta mostraron que, para registro para duraciones superiores a media hora y hasta dos horas y media, las lluvias superaron las curvas de 100 años de período de retorno y los valores máximos de los que se tiene, pese a que la lluvia intensa duró aproximadamente 90 minutos.

De estos datos y de los testimonios de los vecinos, se estimó que al menos el 80% de la precipitación total se dio en una hora. De allí se dedujo que se produjeron precipitaciones de 70 mm en una hora en el Centro, Casavalle y Curva de Maroñas; 80 mm en una hora en Villa García; 90 mm en una hora en Prado y en Instrucciones; 110 mm en una hora en Flor de Maroñas y 120 mm en una hora en Malvín. Estos valores provocaron inundaciones generalizadas.

El evento no solo superó los valores históricos registrados, sino que también excedió las escalas calculadas por la Facultad de Ingeniería. En varios puntos del territorio, las precipitaciones duplicaron los valores de diseño de los sistemas de drenaje, lo que resultó en el desborde de colectores y canales, y en la generación de escorrentías en superficie con velocidades y alturas de agua variables, dependiendo de la topografía del lugar. Todos los colectores y los principales arroyos de las cuencas del Miguelete, Toledo-Carrasco y Paraguay-Costero desbordaron, replicando los escenarios previstos en el Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano para tormentas con un período de retorno de 100 años.

En la Rambla de Carrasco, se produjo una inundación sin precedentes, lo que ocasionó el corte de varios tramos. Los valores registrados en el pluviómetro del Centro Comunal Zonal 7 (130 mm), en el pluviómetro de la Usina de Residuos de Felipe Cardozo (151 mm), y en el pluviómetro del Aeropuerto de Carrasco (108 mm) duplicaron en volumen a las lluvias de diseño de los sistemas de drenaje y superaron ampliamente los valores correspondientes a una tormenta de 100 años de período de retorno. Además, el nivel de la marea, que se mantuvo por encima de la media, agravó las inundaciones en las zonas costeras.

La figura a continuación ilustra la distribución de la lluvia durante este evento.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Figura 2 Distribución espacial de la tormenta del 17 de enero de 2022

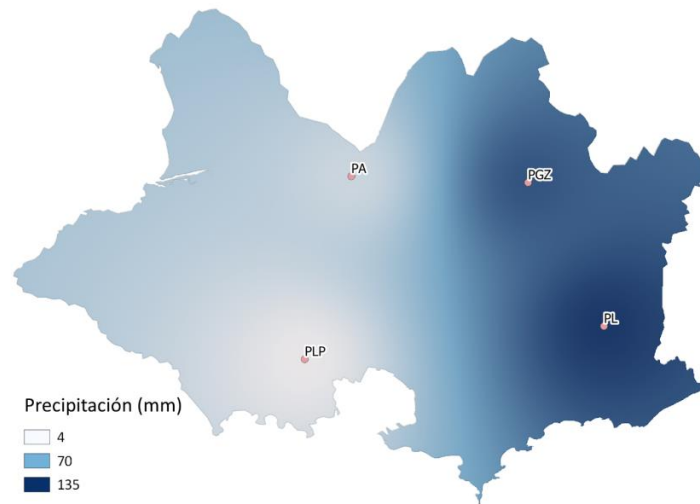
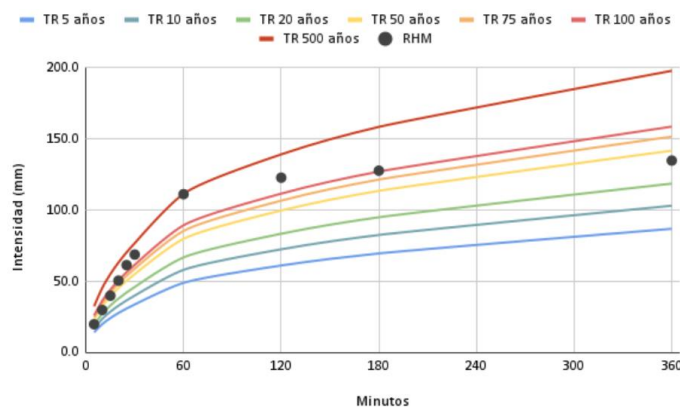


Figura 3 Intensidad para cada periodo de retorno de la tormenta de 17 de enero del 2022



1° de diciembre de 2023

El evento de tormenta comenzó a las 12:40 y se prolongó hasta las 20:00, con una duración total de 7 horas y 20 minutos. La distribución de las precipitaciones fue heterogénea en Montevideo, siendo más intensa en las zonas centro y oeste, y menos pronunciada hacia el noreste. Las precipitaciones acumuladas variaron entre 62 mm en Instrucciones y 118 mm en Santiago Vázquez. Las áreas más afectadas fueron Santiago Vázquez, el Prado y Malvín, donde se registraron los valores más altos de lluvia. En el Prado, se alcanzaron 62,5 mm en el transcurso de una hora, mientras que en Santiago Vázquez se registraron 77 mm en el mismo lapso. Estos valores superan el máximo histórico previo a 2005, que era del orden de 70 mm.

El evento de tormenta del 1 de diciembre concentró sus intensidades en las primeras 2 horas y 30 minutos, con dos picos importantes: el primero entre las 12:40 y 13:30, y el segundo entre las 13:50 y 14:50.

Al analizar la distribución espacial de la tormenta, se infiere que el evento se concentró principalmente en las zonas sur y oeste del departamento de Montevideo.

Al evaluar el impacto de la tormenta en distintas zonas del departamento:

- Zona central (Pluviómetro MB): Se estima un período de retorno de entre 5 y 20 años para duraciones de 10 a 30 minutos, y entre 25 y 100 años para duraciones de 1 a 3 horas. Para

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
duraciones mayores, el período de retorno se sitúa entre 10 y 20 años.

- Zona sur-sureste (Pluviómetro EBCO): El período de retorno varía entre 2 y 10 años para duraciones de 10 a 30 minutos, y entre 10 y 50 años para duraciones mayores.
- Zona noreste (Pluviómetro PGZ): El período de retorno es de 2 años para duraciones de 10 a 30 minutos, y menor a 2 años para duraciones más prolongadas.

Este análisis muestra la gran variabilidad en los impactos y los períodos de retorno de la tormenta en función de las diferentes zonas del departamento, lo que refuerza la necesidad de estrategias diferenciadas para la gestión de riesgos en cada área.

En las figuras a continuación se presenta la distribución espacial de la lluvia y la comparación de la intensidad de la precipitación para distintas duraciones con las curvas para Montevideo de duración y precipitación para distintos períodos de retorno.

Figura 4 Distribución espacial de la tormenta el día 1 de diciembre de 2023

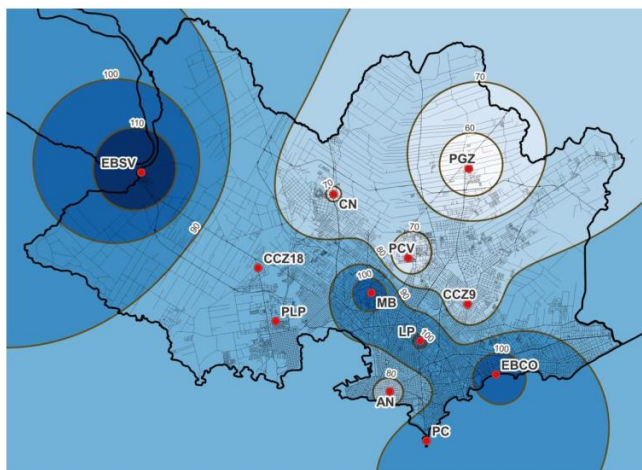
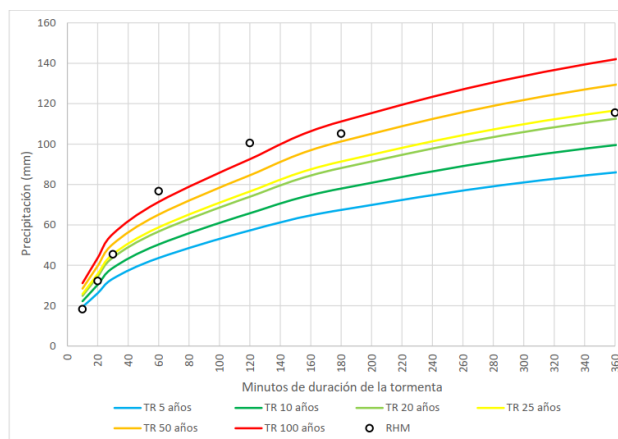


Figura 5 Intensidad de la precipitación para distintos periodos de retorno (para RHM) para la tormenta del 1 de diciembre



2 de marzo de 2024

El sábado 2 de marzo de 2024, entre las 11:55 y las 13:50, se produjo una tormenta que afectó tanto a Montevideo como a parte de Canelones, con variaciones locales en la intensidad de las precipitaciones. La lluvia cubrió todo el departamento, siendo especialmente intensa en las zonas Centro y Este de Montevideo, que abarcan aproximadamente 300 km², incluyendo las cuencas del

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
Miguelete, Toledo-Carrasco, Paraguay-Costero y Costero-Carrasco.

Según los pluviómetros que registraron la variación temporal de la lluvia, el evento tuvo una duración total de 1 hora y 55 minutos, concentrando la mayor parte del volumen precipitado en menos de 30 minutos, entre las 12:20 y las 12:45. Durante este período, las lluvias más intensas se concentraron principalmente en la zona sureste del departamento.

Los pluviómetros de la Red Hidrometeorológica de Montevideo (RHM), que cuenta con 13 pluviómetros activos, registraron precipitaciones totales de entre 33 y 57 mm, mientras que el pluviómetro del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) en Prado registró 35 mm.

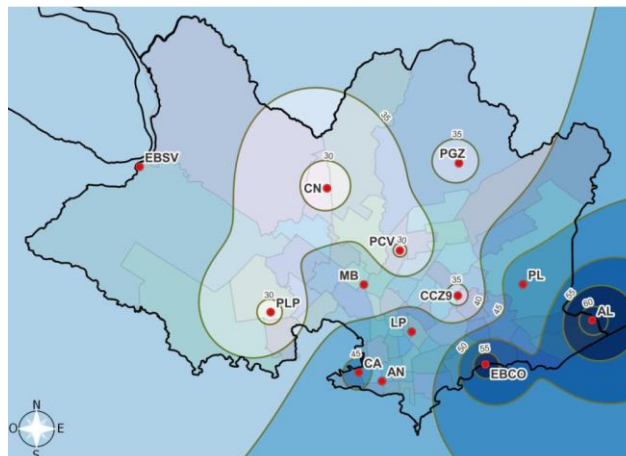
De acuerdo con los estudios de la Facultad de Ingeniería realizados entre 2012 y 2013, las precipitaciones de más de 30 mm en 20 minutos tienen una recurrencia aproximada de una vez cada 10 años, mientras que las precipitaciones de 44 mm en ese mismo intervalo temporal ocurren aproximadamente una vez cada 100 años.

Ocho de los 13 pluviómetros de la Intendencia registraron valores que superaron los 44 mm para 20 minutos de duración, con precipitaciones que excedieron el período de retorno de 10 años. En zonas como Jacinto Vera, el Centro y Malvín Norte, se superaron los valores correspondientes a un período de retorno de 20 años. En las áreas costeras de Malvín y Carrasco, las precipitaciones alcanzaron niveles equivalentes a un período de retorno superior a 100 años, destacando la intensidad y el carácter extraordinario de este evento en esas áreas.

En resumen, la tormenta del 2 de marzo fue un evento extraordinario para duraciones cortas, afectando severamente gran parte del territorio de Montevideo, especialmente en la zona sureste.

En la figura a continuación se presenta la distribución espacial de la lluvia en el departamento.

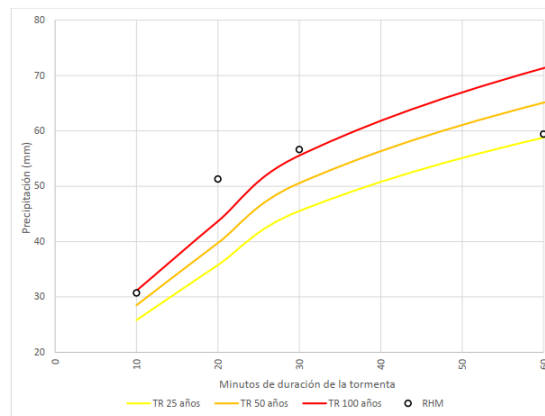
Figura 6 Distribución espacial de la tormenta del 2 de marzo de 2024



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Figura 7 Intensidad de precipitación para distintos periodos de retorno para la tormenta del 2 de marzo



CONCLUSIONES

Aumento en la frecuencia de eventos extremos:

Durante la década de análisis, se registraron cuatro tormentas con un período de retorno superior a 100 años y dos con períodos de retorno de 50 años. Esto es inusual y preocupante, dado que los eventos con estos períodos de retorno tradicionalmente se esperarían con mucha menor frecuencia. La frecuencia creciente de tormentas de gran magnitud podría sugerir una alteración en el régimen de precipitaciones, probablemente vinculada al cambio climático. Los eventos que antes se esperaban con menor frecuencia, ahora parecen ocurrir en intervalos más cortos, lo que plantea desafíos importantes para la infraestructura de drenaje y la capacidad de respuesta de la ciudad.

Severidad de los eventos y su impacto en la infraestructura:

Las tormentas de mayor magnitud, como las registradas en 2020, 2022, y 2023, evidenciaron que la infraestructura urbana de Montevideo no está preparada para soportar lluvias con tales volúmenes de precipitación. En varios de estos eventos, las lluvias superaron los valores de diseño de los sistemas de drenaje, resultando en inundaciones severas. Estas tormentas generaron inundaciones que afectaron severamente las zonas costeras, urbanas y las cuencas principales, superando los sistemas de colectores y generando daños significativos a la infraestructura pública y privada y exponiendo a la población a riesgos importantes.

Incorporación de medidas estructurales y no estructurales:

Para mejorar la resiliencia frente a estos eventos extremos, es esencial la adopción de: medidas estructurales en la infraestructura pública (como la mejora de sistemas de drenaje, construcción de tanques de amortiguación y ampliación de canales), la adopción de medidas de protección de las personas y bienes contra las inundaciones y la aplicación de medidas no estructurales. Estas últimas incluyen sistemas de alerta temprana, ordenamiento territorial, y la educación y concientización de la población sobre los riesgos. Estas medidas combinadas permiten una respuesta integral al problema, abordando tanto las causas como las consecuencias de las lluvias extremas.

Monitoreo y gestión de la red de drenaje:

Los impactos de los eventos de inundación demostraron que un monitoreo continuo y preciso de la red de drenaje es fundamental. El uso de herramientas tecnológicas, como los sistemas de monitoreo en tiempo real (a través de pluviómetros y sensores en puntos clave), permitiría conocer mejor el comportamiento de la red y optimizar su gestión. Esto ayudaría a prever desbordes y a tomar decisiones oportunas para minimizar las afectaciones.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Necesidad de inversión en proyectos estructurales:

La frecuencia y magnitud de las lluvias extremas subrayan la necesidad urgente de inversión en proyectos estructurales. Esto incluye la expansión y mejora de los sistemas de drenaje, la construcción de tanques de amortiguación adicionales, y el reforzamiento de infraestructuras clave en áreas vulnerables como Arroyo Seco, la Aguada, Buceo, Jacinto Vera, Cerrito, Carrasco, Malvín y Pocitos. Sin un aumento en la inversión para modernizar y adaptar la infraestructura, Montevideo seguirá siendo vulnerable a las inundaciones recurrentes y a los daños asociados.

Distribución espacial de las lluvias y vulnerabilidad de zonas específicas:

Las áreas más afectadas a lo largo del período analizado fueron las zonas centro, este y sureste de Montevideo. Las cuencas de los arroyos Miguelete, Toledo-Carrasco, Pocitos y Buceo mostraron ser particularmente vulnerables, al igual que las áreas costeras. Las inundaciones se agravaron en eventos donde las lluvias coincidieron con mareas altas. Esto resalta la importancia de desarrollar estrategias de mitigación diferenciadas que respondan a las características específicas de cada área.

Cambios en los períodos de retorno y necesidad de recalibración:

Dado que los cálculos tradicionales sobre el período de retorno no parecen coincidir con la realidad de los últimos años, podría ser necesario recalibrar las estimaciones para reflejar mejor las nuevas condiciones climáticas. Esto tendría implicaciones en el diseño y mantenimiento de la infraestructura de drenaje en Montevideo.

Eventos climáticos combinados: lluvia y mareas:

En algunos de los eventos más destructivos, como el del 17 de enero de 2022, las precipitaciones extremas coincidieron con mareas mayores a la media, lo que exacerbó las inundaciones en zonas costeras como Carrasco, Punta Gorda y Malvín. Este tipo de eventos combinados crea un doble desafío para la infraestructura urbana, que debe lidiar con las escorrentías intensas y el incremento del nivel del mar, lo que multiplica el riesgo de inundaciones graves.

Impactos sociales y económicos:

Las inundaciones recurrentes han generado graves impactos en la población y la economía local. Áreas densamente pobladas y concurridas, como Pocitos, Arroyo Seco, Buceo, Carrasco y el Centro, han sufrido daños importantes en viviendas, comercios y servicios esenciales. Las interrupciones del transporte, el daño a vehículos y la pérdida de conectividad en vías clave generan costos económicos significativos para la población y la ciudad, lo que subraya la urgencia de tomar medidas para mitigar estos riesgos.

La necesidad de una infraestructura resiliente:

La infraestructura urbana de Montevideo debe adaptarse a la nueva realidad climática. Además de la inversión en mejoras estructurales, es crucial implementar soluciones que fortalezcan la resiliencia de la ciudad, como el uso de soluciones basadas en la naturaleza, zonas de retención de agua y planes de gestión integral de cuencas. Estas acciones, junto con una mayor capacidad de monitoreo y predicción, ayudarán a reducir la vulnerabilidad de la ciudad frente a eventos climáticos extremos.

El análisis de los eventos de lluvias extremas entre 2014 y 2024 en Montevideo deja claro que la ciudad podría estar enfrentando un cambio importante en su régimen de precipitaciones, asociado al cambio climático. Este fenómeno presenta desafíos crecientes para la infraestructura urbana y la gestión de riesgos. Inversiones estratégicas en infraestructura, combinadas con la incorporación de medidas estructurales y no estructurales, el monitoreo en tiempo real, la evaluación de las curvas IDF y de los criterios de diseño, serán esenciales para enfrentar futuros eventos extremos. Estas acciones no solo protegerán a la población, sino que también minimizarán los daños económicos y sociales asociados a las inundaciones recurrentes.