

Impacto del Cambio Climático en el Riesgo de Inundaciones Urbanas en Barcelona

Pouget L. ^{1*}, Russo B. ², Escaler I. ¹, Redaño Á. ³, Ribalaygua J. ⁴, Garcia J. ⁵

¹ CETaqua, lpouget@cetaqua.com, iescaler@cetaqua.com

² Clavegueram de Barcelona S.A. (CLABSA), Beniamino@clabsa.es

³ Fundación para la Investigación del Clima, fic@ficlima.org

⁴ Dept Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, angel@am.ub.es

⁵ Aqua Ambiente Servicios Integrales, S.A., jgarciaa@aquaplan.es

RESUMEN

Este documento presenta el estudio del impacto del cambio climático sobre los eventos de lluvias extremas para la ciudad de Barcelona y describe cómo los resultados fueron utilizados para realizar una evaluación de los riesgos de inundación.

Como primer paso se utilizó el método de reducción de la escala para generar series diarias de precipitación futuras. Este método de reducción de la escala basado principios analógicos utilizó los resultados de cinco Modelos de Circulación General (MCG) sometidos a diferentes escenarios futuros de cambio climático (definidos en el IPCC4) para así producir series temporales de precipitación futura corregidas para eventos extremos en seis observatorios pluviométricos de la zona urbana de Barcelona. En un segundo paso, estos datos se utilizaron para crear nuevas curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Se utilizó el método basado en las propiedades fractales de la precipitación para reducir la escala temporal de la precipitación de información diaria a horaria. Como último paso, se comparan las curvas IDF presentes y futuras y se calculan coeficientes de cambio climático para las tormentas de diseño para todos los escenarios considerados.

Los valores elevados con los coeficientes de cambio climático para período de retorno de diez años (incremento de 12%) fueron seleccionados para modelación y evaluación de peligrosidad y riesgo de inundación. Considerando la incertidumbre del método de reducción de escala, este valor se considera indicativo como límite superior de los posibles cambios extremos de precipitación esperados de sobre la ciudad.

PALABRAS CLAVE

Cambio climático, reducción de la escala, precipitación extrema, inundación.

INTRODUCCIÓN

La modificación de las frecuencias e intensidades de eventos extremos puede incrementar significativamente el nivel de peligrosidad de inundaciones en zonas urbanas puesto que las redes de drenaje fueron concebidas basándose en las series históricas de eventos de precipitación. En Barcelona la evaluación de peligrosidad se suele realizar utilizando una tormenta de diseño de una hora de duración correspondiente a un período de retorno de 10 años.

Esta publicación describe cómo el impacto del cambio climático fue considerado en precipitaciones extremas para realizar y actualizar la evaluación de los riesgos de inundación de acuerdo con los requerimientos de la Directiva europea de gestión de riesgo de inundaciones (Unión Europea, 2007). Este estudio es parte de un proyecto de mayor alcance que tiene como objetivo determinar estrategias de adaptación a riesgos futuros en zonas urbanas. Se ha desarrollado por un grupo de compañías del ámbito del agua (presupuesto de R+i Alliance), e incluye la evaluación del impacto del cambio climático en precipitaciones extremas, el uso de herramientas innovativas de modelación para pronosticar el riesgo de inundación y finalmente definir planes pro-activos y de largo plazo contra inundaciones.

MÉTODOS

En este estudio, la reducción de la escala espacial de los datos de Modelos de Circulación General (MCG) fue realizada por la Fundación para la Investigación del Clima (FIC), esos datos fueron utilizados por un equipo supervisado por la Universidad de Barcelona (UB) para actualizar la tormenta de diseño (Figura 1). El principal objetivo de este estudio fue actualizar la tormenta de diseño correspondiente a un período de retorno de 10 años y duración de una hora representando las condiciones futuras alrededor del año 2040.

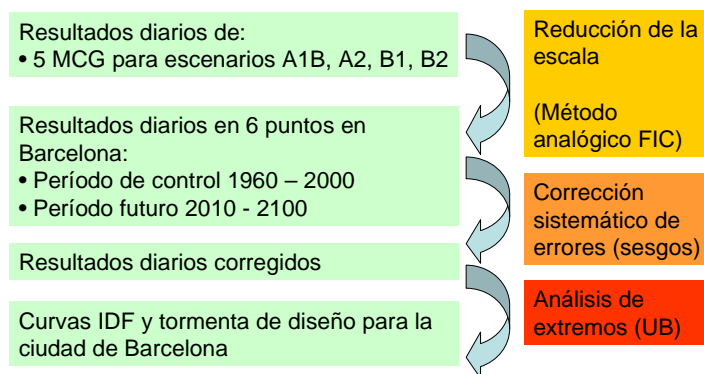


Figura 1 Metodología utilizada en el estudio

Para el primer paso, el método estadístico de reducción de escala de la FIC fue aplicado a los resultados de los Modelos de Circulación General (MCG), y cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (SRES A1B, A2, B1 y B2) como se describe en Tabla 1.

Tabla 1: Modelos climáticos de circulación general y escenarios utilizados

GCM	Escenario SRES
BCM2	A2, B1, A1B, Control
CGCM2	A2, B2, Control
CNCM3	A2, B1, A1B, Control
ECHAM5	A2, B1, A1B, Control
EGMAM	A2, B1, A1B, Control

Como otros métodos de reducción de la escala de tipo analógico, la hipótesis básica de la metodología FIC es que existe una relación entre variables atmosféricas a grande escala (por ejemplo, el viento geostrofico en 1000 hPa) y variables a escala pequeña (como temperatura superficial o precipitación). Una vez esas relaciones han sido determinadas y validadas mediante observaciones, esas se aplican a las salidas de los modelos climáticos (futuras variables atmosféricas a grande escala) para encontrar valores futuros de variables superficiales de pequeña escala. Esto asume que las relaciones entre predictores (variables atmosféricas de grande escala) y predictandos (variables de superficie de escala menor) no cambiarán en el futuro bajo condiciones de cambio climático.

Los valores transformados a escala reducida de precipitación fueron comparados con los datos observados del Reanálisis Europeo ERA40 para corregir los sesgos introducidos por el método de reducción de escala y los MCG (Tabla 2). Se utilizaron las observaciones de seis estaciones pluviográficas situadas en la zona urbana de Barcelona.

Tabla 2. Comparaciones realizadas para corrección del sesgo (error introducido)

		Entrada para reducción de escala	Salida de reducción de escala	Comparación con:
Sesgos Analizados	Método de reducción de escala	ERA40	Datos re-escalados ERA40	Observaciones locales
	MCG	Datos de control MCG	Control Datos re-escalados GCM	Datos re-escalados ERA40

Los sesgos (errores introducidos) fueron calculados para cada día del año y para cuarenta cuantiles de intensidad, donde los cuantiles superiores representan las precipitaciones más elevadas. Como resultado, se obtuvo para cada una de las seis estaciones de Barcelona un total de 14 series temporales corregidas (lo que incluye eventos extremos) representando los valores de precipitación diaria para el período 2010-2100. En general, los modelos tienden a subestimar valores para todas las estaciones excepto en verano donde tienden a sobre estimar los valores.

En un segundo paso, las frecuencias acumuladas de las precipitaciones diarias de control y futuras fueron calculadas siguiendo la metodología descrita por Casas et al. (2004). Las colas de la distribución fueron ajustadas a una función empírica potencial-exponencial con tres parámetros libres:

$$F(x) = 1 - mx^n e^{-px}$$

Donde x es la precipitación. Los parámetros m , n y p fueron determinados por el método de mínimos cuadrados para cada serie.

Para estimar la variación horaria de la intensidad de precipitación, se utilizó un método basado en las propiedades fractales de la precipitación (Pao-Shan et al. 2004). Este método asume que las

precipitaciones máximas siguen ciertas relaciones (Menabde et al. 1999) lo que significa que la distribución de probabilidad (I_d) de la serie de intensidad anual máxima (de duración $d_0 = 1$ día) está relacionada con la distribución correspondiente (I_{d0}) de otra escala (duración $d = \lambda d_0$) por medio otro factor que es una función exponencial del parámetro de escala λ :

$$I_d = \lambda^\beta \cdot I_{d_0}$$

Basándose en la observación de los datos existentes de la estación pluviográfica Jordi en Barcelona, se estableció la relación entre la precipitación diaria y horaria. Aplicando la misma relación para precipitaciones diarias futuras se obtuvieron los valores de intensidades horarias para distintos períodos de retorno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque los resultados son bastante variables dependiendo del modelo de circulación general utilizado y las estaciones a que se haga referencia, se ve una tendencia clara a un incremento de precipitaciones extremas diarias. La Tabla 3 presenta el porcentaje de variación entre valores actuales y valores futuros de intensidad de precipitaciones para el período 2033-2065 y Tabla 4 presenta las diferencias entre los valores actuales de intensidad horaria y los futuros calculados para el mismo período de retorno.

Tabla 3. Porcentaje de variación de intensidad diaria entre escenario actual y futuro

Escenario	Período de Retorno (años)		
	1	5	10
A1B	0	3	4
A2	0	0	1
B1	1	2	2
B2	0	1	1

Tabla 4. Porcentaje de variación de intensidad horaria entre escenario actual y futuro

Escenario	Período de Retorno (años)		
	1	5	10
A1B	8	11	12
A2	9	9	10
B1	3	3	4
B2	-5	-4	-4

El valor más alto, incremento del 12%, fue utilizado como coeficientes de cambio climático de la tormenta de diseño considerada y se obtuvo una nueva tormenta de diseño por la multiplicación de todos los bloques de intensidad por 1.12. La tormenta de diseño resultante se muestra en la Figura 2. Las tormentas de diseño actual y futura fueron utilizadas como dato de entrada de modelo hidráulico de la ciudad para evaluar el nivel de peligrosidad de inundación adicional y riesgo de inundación generado por el cambio climático (Ruso et al., 2011).

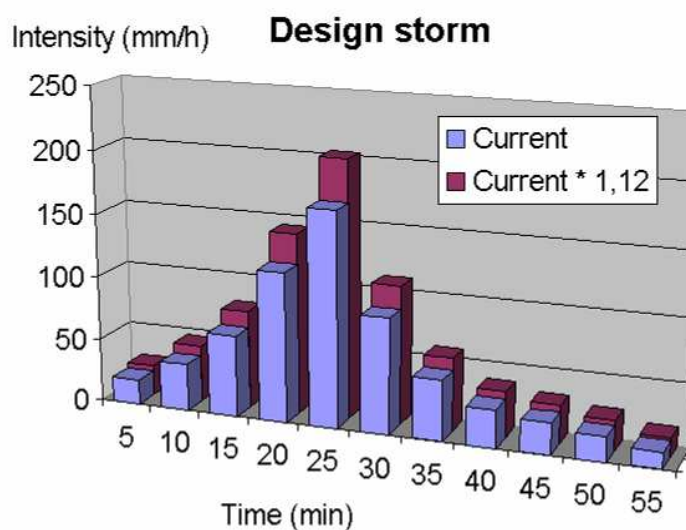


Figura 2 Tormenta de diseño modificada

CONCLUSIONES

Los resultados de la verificación del proceso de reducción de la escala fueron aceptables, especialmente después de aplicar el método de corrección del sesgo sistemático. En general los modelos tienden a subestimar la precipitación para todas las estaciones excepto para el verano donde tienden a sobrestimar. También se debe notar que los MCG no resuelven lluvias generadas por procesos convectivos (debido a la baja resolución espacial y temporal de los modelos) por lo que se espera que los resultados sean aún más intensos en verano debido a la gran proporción de precipitación convectiva.

El análisis de precipitación anual máximos diarios muestra que la diferencia entre los valores de control los valores futuros de intensidad aumenta con el período de retorno. En general, los resultados muestran una gran variabilidad dependiendo del modelo de circulación general utilizado, sin embargo se identificó una tendencia de incremento de la intensidad máxima diaria entre 1% a 4% para 2050 y un período de retorno de 10 años, dependiendo del escenario (A1B, A2, B1 y B2). De acuerdo al principio del método de la invariancia de de los factores de cambio climático, estos resultados fueron utilizados directamente para incrementar las tormentas de diseño. El segundo método basado en la invariancia de la escala temporal fue utilizado para estimar el cambio de la intensidad máxima horaria, los resultados muestra diferencias con el período de control en el rango de -4% hasta +12%, para el año 2050 dependiendo del escenario.

Finalmente, una tormenta de diseño modificada fue seleccionada correspondiente al peor escenario. Estas tormentas de diseño fueron utilizadas como dato de entrada de modelos hidráulicos del área de estudio para determinar los posibles impactos del cambio climático en los niveles de peligrosidad de inundación y riesgo de inundación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al grupo R+i Alliance incluyendo a Suez Environment, AGBAR, Lyonnaise des Eaux, United Water y Northumbrian Water for su apoyo en este estudio.

REFERENCIAS

Casas M.C., Codina B., Redaño A. & Lorente J. (2004). A methodology to classify extreme rainfall events in the western Mediterranean area. *Theor. Appl. Climatol.*, 77: 139-150.

European Union (2007). Floods directive.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:EN:PDF>, visited 22 March 2011

Pao-Shan, Y., Yang, T.C., Lin, C.S. (2004). Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *J. Hydrol.* 295, 1-4, 108-123.

Menabde, M., Seed, A., Pegram, G. (1999).. A simple scaling model for extreme rainfall. *Water Resour. Res.* 35, 1, 335-339.

Russo B., Pouget L., Sunyier D., Malgrat P. (2011). Flood risk assessment through a 2D-1D coupled modeling approach including impact of climate change in Barcelona. Proceedings 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, September, 11-16, 2011