

## Revisión histórica de los factores de reducción por área. Aplicación en la zona mediterránea de España

### *Historical analysis of the areal reduction factors. An application in the mediterranean zone in Spain*

Delva Guichard Romero <sup>1</sup>  
Ramón Domínguez Mora <sup>2</sup>  
Rafael García Bartual <sup>3</sup>

#### RESUMEN

Se presenta una revisión del estado del arte de los factores de reducción por área (FRA); métodos de obtención y aplicaciones en diferentes regiones. Se calculan los FRA de evento, en una zona de la Comunidad Valenciana, España, donde por una parte se investiga en detalle el más importante de los eventos registrados históricamente por el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Júcar, y por otro lado, se analizan 100 eventos sintéticos generados con el modelo estocástico multidimensional RAINGEN, para intervalos temporales entre 10 minutos y 24 horas y áreas de 193, 421 y 1 600 km<sup>2</sup>. A la vista de los resultados obtenidos por diversos autores, se puede concluir que la magnitud de los factores de reducción por área depende del tipo de FRA considerado (de evento o de área geográfica fija), del clima de la zona en estudio, de la duración analizada y del periodo de retorno.

**Palabras clave:** Factor de reducción por área, evento lluvioso, modelación de lluvia.

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to do a state of the art review the state of the Areal Reduction Factors (ARF): comparison of methodologies and applications in different regions, and a practical estimation of the ARF at the Valencian Community in Spain. The ARFs were calculated for a real event with a reference time step of one hour. The ARFs were also estimated for one hundred synthetic events, generated with the multidimensional stochastic rainfall model RAINGEN. These synthetic events were analyzed considering durations between 10 minutes and 24 hours and areas of 193, 421 and 1 600 km<sup>2</sup>. In general terms it is confirmed that ARF values depend on the type of ARF (storm-centred or fixed area), the climate of the region, the analyzed duration and the return period.

**Keywords:** Areal reduction factors, rainy event, modeling of rain.

#### INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento de las obras hidráulicas es función del caudal de diseño; éste puede estimarse utilizando métodos hidrometeorológicos o mediante el análisis estadístico de caudales máximos. En el primer caso se calcula una tormenta de diseño, asociada al periodo de retorno seleccionado, y se convierte en avenida mediante modelos lluvia-escorrentía. En el segundo se analizan directamente los datos de caudales máximos registrados en una estación hidrométrica en la zona de interés.

Debido a que lo más común es no contar con registros de caudales en el sitio de interés y a que cuando eventualmente se tienen, éstos no

son lo suficientemente largos como para permitir hacer análisis estadísticos fiables, la utilización de modelos lluvia-escorrentía es muy frecuente.

Para la aplicación de dichos modelos es necesario el cálculo de la tormenta de diseño para la duración, periodo de retorno y área de interés. Sin embargo, y debido al desconocimiento de la distribución de frecuencia de las precipitaciones areales, se utilizan los datos puntuales para su estimación, lo cual obliga a introducir los factores de reducción por área. En efecto, en el análisis tradicional, en que se consideran los máximos anuales puntuales, los cálculos tienden a sobrestimar la precipitación, al no considerar el efecto de no simultaneidad de las lluvias, es decir el hecho de que los máximos

<sup>1</sup> Profesora de la Universidad Autónoma de Chiapas, México. Blvd. Belisario Domínguez, km 1091. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. dguich@unach.mx

<sup>2</sup> Investigador del Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Edificio 5 (Hidráulica). Delegación Coyoacán, 04510, México, D. F. rdm@pumas.iingen.unam.mx

<sup>3</sup> Catedrático del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA). UPV. Camino de Vera S/N, Valencia, 46022, España. rgarciab@hma.upv.es

no se presenten en el mismo momento en todas las estaciones consideradas. Esta falta de simultaneidad lógicamente se acentúa conforme el área estudiada es mayor.

En ese sentido, a partir de la década de los sesenta se han desarrollado diversos métodos para el cálculo de los Factores de reducción por área (FRA). Hersfield en 1962 definió dos tipos de factores, los que se obtienen para cada evento, a los que llamó de centro de tormenta (*storm centred*) y los que se obtienen con datos de diferentes tormentas, denominados de área geográfica fija (*fixed area*). Estos últimos han sido los más utilizados, debido a que permiten hacer análisis de frecuencia, por ello también se conocen como factores de reducción por área estadísticos.

Para la obtención de los FRA se han propuesto diversos métodos, que de acuerdo con su concepción, podrían considerarse empíricos (U. S. Weather Bureau, 1957; Bell, 1976; Desbordes, Raous, & Trévisiol, 1984), teóricos (Roche, 1963; Rodríguez Iturbe & Mejía, 1974; Nguyen, Rousselle, & McPhearson, 1980; Bacchi & Ranzi, 1995; Sivapalan & Blöshl, 1998; y De Michelle, Kottegoda & Rosso, 2001) o teórico-empíricos (Myers & Zehr, 1980).

Los métodos empíricos relacionan la precipitación areal máxima (obtenida por diferentes procedimientos) con la máxima puntual; dentro de ellos destacan los del USWB (Viessman, 1989), y Bell (1976). Aunque con poco fundamento teórico, han sido una referencia tanto para diseño como para efectos de comparación con otros métodos (como los teóricos), por lo que siguen siendo vigentes.

Desbordes, Raous, & Trévisiol (1984) proponen una variante a los métodos empíricos para la obtención de los FRA correspondientes a un evento. Identifican dos tipos de factores para cada evento, los derivados de la relación entre la precipitación máxima areal y la precipitación presentada durante el mismo periodo de tiempo en la estación analizada. Dichos factores pueden ser en algunos casos mayores que la unidad y naturalmente se obtienen tantos como estaciones se tengan. El segundo tipo se obtiene al relacionar el valor máximo areal con el máximo puntual, esto es, se obtiene un solo factor para cada evento, siempre menor que la unidad.

En cuanto a las aportaciones teóricas, a partir de 1963 se han propuesto diferentes metodologías. Roche (1963) considera la lluvia como un proceso isótropo, de tal forma que las precipita-

ciones puntuales siguen la misma ley de frecuencias teórica en diferentes localizaciones. Este método se refiere a FRA de eventos analizados individualmente.

Rodríguez Iturbe & Mejía (1974) proponen una extensión del método de Roche, basada en la estructura de correlación espacio-temporal de la lluvia. El enfoque permite obtener, en realidad, el factor de reducción de varianza de un evento aislado.

Nguyen, Rousselle & McPhearson (1980) consideran la lluvia como un proceso estocástico, intermitente y positivo; y que la distribución de frecuencias de las lluvias horarias puntuales y areales es de tipo exponencial. Encuentran factores de reducción que pueden ser mayores que la unidad.

Bacchi & Ranzi (1995) proponen un método estocástico basado en la teoría de cruces aplicada al proceso de lluvias, el cual se considera estacionario y homogéneo. Consideran que el número de cruces de las intensidades máximas de lluvia sigue una distribución de Poisson.

Sivapalan & Blöshl (1998) proponen una metodología basada en la de Rodríguez Iturbe & Mejía, pero considerando la distribución de valores extremos y no únicamente la distribución del proceso original de lluvias. Suponen, también, que el campo de lluvias es isótropo y estacionario en el espacio y que el área es de forma cuadrada. El método considera una distribución exponencial para el proceso original y una Gamma para el proceso areal, que posteriormente se transforma en una de valores extremos.

Asquith & Famiglietti (2000) proponen un método denominado *máximo anual centrado*, que considera específicamente la distribución de precipitaciones simultáneas circundantes a la precipitación máxima anual. El método supone un proceso espacial isótropo y que el volumen potencial de la tormenta de diseño ocurre cuando el centro de la tormenta coincide con el centroide de la cuenca.

De Michelle, Kottegoda & Rosso (2001), por su parte, proponen una metodología basada en las propiedades de escalado en el espacio y en el tiempo, usando los conceptos de escalado dinámico y autosimilitud estadística. Nuevamente, consideran que el proceso de lluvias es isótropo en el espacio. Con esta propuesta llegan a obtener las curvas IDAF (intensidad-duración-área-frecuencia) y las IDF (intensidad-duración-frecuencia), de las que derivan los factores de reducción por área.

Por último, en cuanto a los métodos teórico-empíricos, la propuesta de Myers & Zehr (1980), consiste en obtener los estadísticos de cada estación por separado, de pares de estaciones y de grupos de cinco estaciones. Mediante la combinación de dichos estadísticos se obtienen los factores de reducción por área. Los autores trabajan con áreas circulares.

En cuanto a las aplicaciones realizadas desde que se introdujo el concepto de Factor de reducción por área, destacan las siguientes: África (Roche, 1963; Rodríguez Iturbe & Mejía, 1974), Australia (Omolayo, 1993), Austria (Sivapalan & Blöschl, 1998), Canadá (Nguyen, Rousselle, & McPhearson, 1981), España (Lorente & Redaño, 1990), Estados Unidos de América (Hersfield, 1962; Viessman, 1989), Francia (Desbordes, Raous, & Trévisiol, 1984; Neppel, Bouvier, et Lavabre, 2003), Italia (Bacchi & Ranzi, 1995; De Michelle, Kottegoda, & Rosso, 2001), México (DGCOH, 1982; Tipacamú, Gómez, y Domínguez, 1992; Franco, 1998; Guichard y Domínguez, 1998), Reino Unido (Bell, 1976; Stewart, 1989), Suecia (Niemczynowicz, 1984).

Los cuadros 4 y 5 presentan estas y algunas otras aplicaciones encontradas en la literatura científica, con resultados agrupados en forma sistemática, indicándose las observaciones más relevantes en cuanto a los métodos e hipótesis empleados en cada caso.

En esta investigación se obtienen los factores de reducción por área empíricos para duración de una hora en las cuencas Mijares-Plana de Castellón y Palencia-Los Valles, ubicadas en la Confederación Hidrográfica del Júcar, España, correspondientes al evento registrado entre los días 22 y 25 de octubre de 2000, el más importante de los registrados hasta la fecha por el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), de dicha confederación.

Por otro lado, utilizando el modelo estocástico multidimensional RAINGEN (Salsón & García Bartual, 2003), con parámetros basados en el evento de octubre de 2000, se generaron 100 tormentas sintéticas; con dichos eventos se calcularon los FRA para áreas de 193, 421 y 1 600 km<sup>2</sup>, correspondientes a duraciones de 10, 30 y 60 minutos y 6, 12 y 24 horas.

## METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La mayor parte de las lluvias que se presentan en el litoral mediterráneo son provocadas por los

denominados Sistemas Convectivos de Mesoscala (SCM). Un ejemplo de ello es el episodio de octubre de 2000, correspondiente a una situación de gota fría. Durante los tres días y medio que duró dicho evento, la media diaria de precipitaciones superó los 100 mm en varios puntos de la Provincia de Valencia y más de 120 mm en el norte de la Provincia de Castellón y sur de Tarragona (Salsón, 2001).

En esta investigación se calcularon los FRA correspondientes a dicho evento, con el cociente de la precipitación máxima puntual y la areal de la isoyeta correspondiente al área de análisis, para el mismo intervalo de tiempo. Primeramente se identificaron las precipitaciones horarias máximas correspondientes a todas las estaciones del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Júcar (figura 1). Se observó que la máxima precipitación horaria

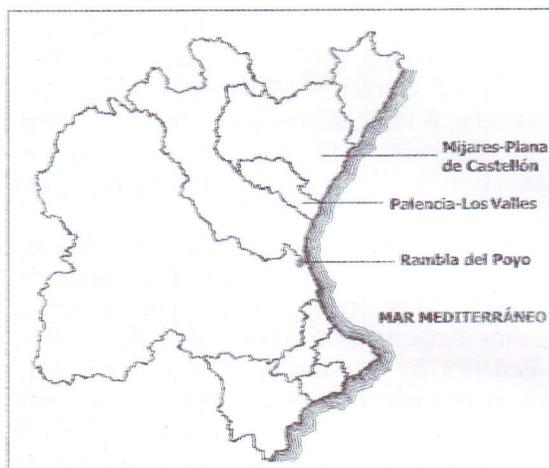


Figura 1. Confederación Hidrográfica del Júcar

se presentó en el noreste de la cuenca (estación 1X03, Ribesalbes), por lo que se trabajó con las subcuencas de Mijares-Plana de Castellón y Palencia-Los Valles, ubicadas en esa zona. En el cuadro 1 se presentan las áreas y factores de reducción correspondientes a las isoyetas

Cuadro 1. FRA. Evento de octubre de 2000

Isoyeta	Área (km <sup>2</sup> )	P <sub>media</sub> (mm)	FRA
84			
75	30.13	79.50	0.95
50	127.11	66.53	0.79
25	257.26	51.84	0.62
0	1600.15	18.82	0.22

(figura 2) para duración de una hora, para el intervalo en que se presentó el máximo en la estación Ribesalbes.

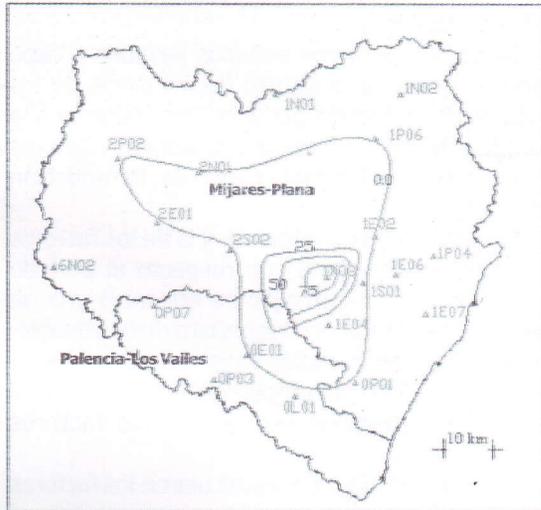


Figura 2. Isoyetas para duración de una hora

La figura 3 muestra gráficamente estos valores. La línea de tendencia incluida es la función potencial  $FRA = 4.0 A^{0.37}$ , la cual fue obtenida para áreas mayores de 30 km<sup>2</sup>. Dicho ajuste se efectuó únicamente a efectos de comparación con los resultados que se muestran más adelante.

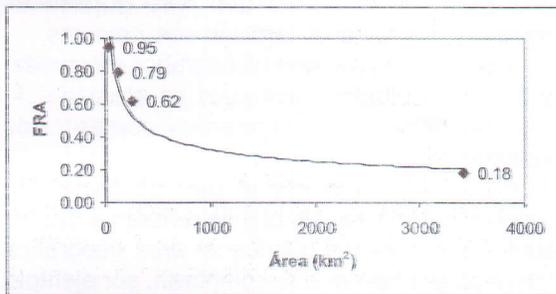


Figura 3. Relación A-FRA. Episodio octubre de 2000

Por otro lado, se utilizó el modelo estocástico multidimensional de precipitación RAINGEN que permite la simulación numérica de los campos de intensidades de lluvia en el espacio y en el tiempo, asociados a episodios máximos de carácter convectivo, para generar 100 eventos sintéticos, considerando como base los parámetros estimados para el evento de octubre de 2000 (Salsón & García-Bartual, 2003).

Los factores de reducción por área para cada uno de los eventos sintéticos se calcularon con el procedimiento siguiente: para cada área, se eligió la precipitación máxima puntual para la duración de interés y se obtuvo la precipitación areal para ese mismo intervalo de tiempo. El FRA se calculó como el cociente entre la precipitación areal y la máxima puntual. Se trabajó con duraciones de 10, 30 y 60 minutos y 6, 12 y 24 horas; y se analizaron tres áreas, 193 km<sup>2</sup>, 421 km<sup>2</sup> y 1 600 km<sup>2</sup>. Estas áreas corresponden a la que limita la cuenca hasta la estación de aforos existente, el área total de la cuenca de la Rambla del Poyo y el área total considerada para la generación de lluvias, respectivamente.

En el cuadro 2 se muestran los promedios calculados para los 100 eventos, para las duraciones mencionadas y las áreas correspondientes y, en la figura 4 se muestran los resultados en forma gráfica. Se puede observar que para duraciones entre 10 minutos y 6 horas los resultados son muy similares. A partir de 12 horas los factores de reducción son mayores. En el cuadro 3 se indican los valores de FRA mínimo, máximo y la desviación estándar correspondiente a cada área y duración.

Cuadro 2. FRA para los eventos sintéticos

Área (km <sup>2</sup> )	Duración					
	10 min	30 min	60 min	6 hs	12 hs	24 hs
200	0.36	0.37	0.37	0.38	0.42	0.45
400	0.26	0.26	0.27	0.29	0.31	0.34
1600	0.16	0.16	0.17	0.18	0.24	0.24

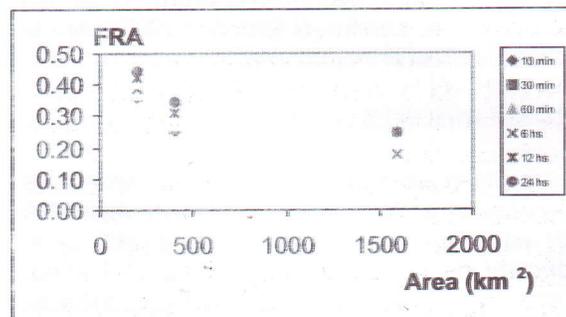


Figura 4. Relación A-FRA

Si se calculan los factores de reducción por área con la ecuación potencial, se obtienen factores de 0.27, 0.44 y 0.59 para áreas de 1 600, 421 y 193 km<sup>2</sup>, respectivamente. Estos factores comparados con los valores medios presentados en el

**Cuadro 3. Estadísticos de los FRA. Eventos sintéticos**

Duración	10 min	30 min	60 min	6 hs	12 hs	24 hs
<b>Estadísticos</b>			<b>A=200 km<sup>2</sup></b>			
Medio	0.36	0.37	0.37	0.38	0.42	0.45
Máximo	0.75	0.75	0.75	0.75	0.78	0.82
Mínimo	0.07	0.07	0.07	0.10	0.18	0.18
Desv. Est.	0.16	0.16	0.16	0.15	0.17	0.17
<b>Estadísticos</b>			<b>A=400 km<sup>2</sup></b>			
Medio	0.26	0.26	0.27	0.29	0.31	0.34
Máximo	0.69	0.69	0.69	0.74	0.74	0.67
Mínimo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.11
Desv. Est.	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15
<b>Estadísticos</b>			<b>A=1600 km<sup>2</sup></b>			
Medio	0.16	0.16	0.17	0.18	0.24	0.24
Máximo	0.27	0.27	0.33	0.42	0.54	0.54
Mínimo	0.02	0.03	0.03	0.02	0.09	0.09
Desv. Est.	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09

cuadro 2, obtenidos con los 100 eventos generados, de la misma forma que los correspondientes a la función potencial, difieren entre 34 y 38%; sin embargo se asemejan a los máximos presentados en el cuadro 3, esto se debe a que el evento de octubre de 2000 fue muy severo en cuanto a magnitud, pero también muy extendido espacialmente.

De los resultados presentados en el cuadro 2 y figura 4, se observa que existe dependencia de los factores de reducción por área con respecto a la duración. A mayor duración, mayor FRA. Lo que ha sido observado en muchos otros estudios (Lorente & Redaño, 1990; Niemczynowicz, 1984).

Es de resaltar que los FRA calculados en esta investigación son bastante más pequeños que los obtenidos en otros trabajos, esto se debe a que los obtenidos para la Comunidad Valenciana son factores de reducción por área de evento, para duración de una hora y además son de una zona de lluvias especialmente convectivas. Lo que se puede observar también (cuadro 4) de los resultados de Lorente & Redaño (1990) para la ciudad de Barcelona, España.

## CONCLUSIONES

Los factores de reducción por área son necesarios para tomar en consideración la no simultaneidad de las lluvias máximas, por lo que a partir de la década de los 60 se han venido utilizando, especialmente con fines prácticos. Desde esa época se han reconocido dos tipos de factores, los llamados de centro de tormenta, que se obtienen para cada evento de lluvia y que originalmente fueron concebidos para su utilización con el método de la Precipitación Máxima Probable y los conocidos como de área geográfica fija, que son obtenidos con datos de diferentes eventos, por lo que pueden relacionarse con el periodo de retorno.

Para la obtención de los factores de reducción por área, se han propuesto diferentes métodos, desde los totalmente empíricos, los teóricos y algunos que consideran tanto aspectos teóricos como empíricos, por lo que podrían denominarse teórico-empíricos.

Desde los primeros estudios llevados a cabo sobre el tema, se encontró dependencia de los factores de reducción por área con respecto a la duración. Normalmente para duraciones menores el factor es también menor, esto es, la reducción es mayor.

En relación con la dependencia de los factores de reducción por área con respecto al periodo de retorno, en un principio se encontró que no existía dependencia con respecto a dicha variable, sin embargo en estudios más recientes (Niemczynowicz, 1984) se empezó a detectar que al aumentar el periodo de retorno los factores disminuyen.

En esta investigación se calcularon los factores de reducción por área para un evento medido, el de octubre del año 2000 y para cien eventos sintéticos generados con el modelo RAINGEN, en una zona de la Comunidad Valenciana, España. Los FRA obtenidos son pequeños, del orden de los propuestos por Lorente & Redaño, (1990), que son para una zona de características similares y para eventos analizados también individualmente. Por otro lado, se encontró, al igual que en otros estudios (Sivapalan & Blöshl, 1998) que los FRA dependen de la duración analizada, de tal forma que para duraciones menores, los factores también son menores.

A la luz de la revisión bibliográfica efectuada, y de los resultados mostrados en el cuadro 5, pueden hacerse los siguientes comentarios adicionales:

En lo que respecta al tipo de factor de reducción por área, los que se refieren a evento suelen ser menores que los de área geográfica fija (esto se observa si se comparan, por ejemplo los de Barcelona o la Comunidad Valenciana con los de otros estudios, como los del NERC o USWB, por mencionar algunos), aunque en algunos estudios, como el de Roche (1963), Rodríguez Iturbe & Mejía (1974), y Court (1961) los FRA son de mayor magnitud, debido probablemente a que para su estimación se utilizaron eventos muy extendidos espacialmente.

Son menores, también, los factores correspondientes a eventos de origen convectivo que los de los eventos generados por otro tipo de precipitaciones (compárense, por ejemplo los



Cuadro 5. Comentarios sobre los resultados presentados en el cuadro 4

País	Factores de reducción por área de área geográfica fija
Australia (Omolayo, 1993)	Obtenidos por el método del USWB, para $D=24$ h. Supone que los FRA son independientes del periodo de retorno. Analiza áreas circulares entre 100 y 1000 km <sup>2</sup> .
Austria (Sivapalan y Blösch, 1998)	Los FRA dependen del área de la cuenca, de la distancia de correlación espacial ( $\lambda$ ), de la duración y del periodo de retorno. $D=24$ h, $T_r=10$ años y $\lambda=2$ km.
Austria (Sivapalan y Blösch, 1998)	Idem, $\lambda=15$ km.
Canadá (Nguyen et al., 1980)	Cuenca de 466 km <sup>2</sup> . Encuentran que los FRA dependen del periodo de retorno y que pueden ser mayores que la unidad. Los valores para $T_r=20$ años y $D=1$ h
España (Témez, 1991)	Factores obtenidos empíricamente para duración de 24 horas.
EUA, U. S. W. B (Viessman, 1989)	Para duración de 24 horas. El área máxima analizada fue de 400 mi <sup>2</sup> (1036 km <sup>2</sup> ).
EU, Chicago (Myers y Zehr, 1980)	$T_r=2$ años y duración de 24 horas. El área máxima analizada fue de 500 mi <sup>2</sup> (1295 km <sup>2</sup> ). Las estaciones consideradas cubren un área de 250 km <sup>2</sup> .
EU, Houston (Asquith y Famigliatti, 2000)	Para $T_r \geq 2$ años y duración de 24 horas. El área máxima analizada es de 18 000 km <sup>2</sup> .
Francia (Neppel et al., 2003)	Zona 2, con alturas entre 200 y 1500 MSNM, para $D=24$ h y $T_r=10$ años. Los FRA decrecen rápidamente en función del área y en menor medida respecto del periodo de retorno.
Italia (Bacchi y Ranzani, 1996)	$D=1$ h y $T_r=2$ años. El área máxima analizada fue de 1000 km <sup>2</sup> . Se encontró variación de los FRA con respecto a la duración y al periodo de retorno.
Italia (De Michelle et al., 2001)	El área máxima analizada fue de 300 km <sup>2</sup> . Los FRA presentados son para duración de una hora. No hicieron análisis de frecuencia.
México, Valle de México (DGCOH, 1982)	Para duración de 24 horas. No encuentran variación con respecto del periodo de retorno. El área máxima analizada es de 9000 km <sup>2</sup> .
México, Grijalva (Tipacamú et al., 1992)	Para duración de 24 horas. No encuentran variación con respecto del periodo de retorno.
México, Valle de México (Franco, 1998)	Para duración de 24 horas. No encontró variación con respecto del periodo de retorno. El área máxima analizada es de 9000 km <sup>2</sup> .
Méx., Grijalva (Guichard y Domínguez, 1998)	$D=24$ horas y $T_r=5$ años. No encuentran variación significativa de los FRA con respecto al periodo de retorno. El área total analizada es de 30500 km <sup>2</sup> .
Reino Unido (NERC, 1975)	El factor crece con la duración de la lluvia y la localización geográfica no es aparentemente importante. Suponen que no hay variación con el periodo de retorno. $D=24$ h.
Reino Unido (Bell, 1976)	El FRA es el promedio para nueve regiones. Los factores decrecen con el periodo de retorno y aparentemente hay variación con respecto a la latitud. $D=24$ horas y $T_r=20$ años.
Reino Unido (Stewart, 1989)	Para duración de 24 horas y periodo de retorno de 10 años. Encuentra que los FRA decrecen con el periodo de retorno.
Suecia (Niemiczynowicz, 1984)	Duración de 40 minutos, periodo de retorno de 3 años y área de 25 km <sup>2</sup> . Encuentra variación respecto al periodo de retorno.
<b>País</b>	<b>Factores de reducción por área de evento</b>
África (Roche, 1963)	Para la cuenca de Flakoho, que se supone rectangular de 9x5.5 km ( $A=50$ km <sup>2</sup> ). $D=24$ h.
África (R. Iturbe y Mejía, 1974)	Para la cuenca de Flakoho, que se supone rectangular de 9x5.5 km ( $A=50$ km <sup>2</sup> ). El factor es prácticamente igual al obtenido por Roche. $D=24$ h.
España, Barcelona (Lorente et al., 1990)	Factores para duración de una hora. El área total analizada es de 50 km <sup>2</sup> .
España, Comunidad Valenciana	Promedios para 100 eventos generados con el modelo RAINGEN-UPV, para duración de 24 horas. Los FRA dependen de la duración.
España, Comunidad Valenciana	Idem, duración de una hora.
EUA de Hershfield y Wilson (Court, 1961)	Consideran que la precipitación puntual es la ocurrida en 10 mi <sup>2</sup> . Para duración de 24 hs. El área máxima analizada es de 5000 mi <sup>2</sup> ( 12950 km <sup>2</sup> ).
Francia (Desbordes et al., 1984)	Para duración de una hora. Área máxima analizada de 400 ha (4 km <sup>2</sup> ).

factores obtenidos para la región del alto Grijalva, en México con los del Reino Unido).

Sobre los factores obtenidos para el Valle de México, se puede decir que los resultados de Franco (1998) son más confiables que los de la DGCOH (1982), debido a que los registros con que se contaba en ese año eran mucho menos extensos que los de 1998.

En cuanto a los factores propuestos para España y a efectos de diseño, en el método racional modificado (Témez, 1991), los FRA se emplean con carácter general independientemente de la duración o el periodo de retorno.

A la vista de los resultados obtenidos por diversos autores, se puede concluir que la magnitud de los factores de reducción por área depende del tipo de FRA considerado (de evento o de área geográfica fija), del clima de la zona en estudio, de la duración analizada y del periodo de retorno.

Con relación al tipo de factor de reducción por área, esto es, de evento o área geográfica fija, es importante resaltar que los primeros son una forma de caracterizar las tormentas en cuanto a su extensión espacial, mientras los FRA de área geográfica fija pueden relacionarse con el concepto de periodo de retorno y por lo tanto es posible utilizarlos con fines de diseño.

A pesar de todos los esfuerzos llevados a cabo hasta ahora, es necesario continuar estudiando los factores de reducción, por área y relacionarlos con algún índice que dé cuenta de la génesis de las lluvias de la región, de tal modo que sea posible utilizar los resultados obtenidos para una región en otra donde las precipitaciones tengan un origen similar. En este sentido se puede aprovechar que cada vez se contará con redes de medición más extensas, por lo que se podrá tener un mayor número de datos de precipitación. Los datos de radar indudablemente también deben procurar un apoyo importante para mejorar las metodologías existentes.

En lo que respecta a la Comunidad Valenciana, donde se presentan especialmente eventos de origen convectivo, que en ocasiones originan fuertes precipitaciones de corta duración, generando crecidas súbitas, es importante continuar con el estudio de los FRA y tratar de asociarlos con índices como los mencionados en el párrafo anterior, así como su relación con los modelos espacio-temporales de lluvia.

## REFERENCIAS

- Asquith, W.H., & Famiglietti, J.S., (2000). Precipitation areal reduction factor estimation using an annual maxima centered approach. *Journal of Hydrology*, 230, 55-69.
- Bacchi, B., & Ranzi, R. (1996). On the derivation of areal reduction factor of storms. *Atmospheric Research*, 42, 123-135.
- Bell, F.C. (1976). The areal reduction factor in rainfall frequency estimation. *Report no. 35, Institute of hydrology*, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Court, A. (1961). *Area-depth rainfall formulas*, Journal Geophysical Research, Vol 66.
- De Michelle, C., Kottegoda, N.T., & Rosso, R., (2001). The derivation of areal reduction factor of storm rainfall from its scaling properties. *Water Resources Research*, 37, 3247-3252.
- Desbordes, M., Raous, P., & Trévisiol, Y. (1984). Areal reduction factors on short time and space intervals. *Wather, Sciences and Technology*, 16, Copenhagen, 189-198.
- DGCOH, (1982). *Manual de hidráulica urbana, Tomo I*, Departamento del Distrito Federal, México.
- Franco, D.C. (1998). *Análisis regional de lluvias convectivas. Aplicación al Valle de México*. Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Guichard, R.D., y Domínguez, M.R., (1998). *Análisis regional de lluvias en la cuenca del Alto Río Grijalva*. XIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México.
- Hershfield, D.M. (1962). Extreme rainfall relationships. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Hydraulic Div.*, HY6(11), 73-79.
- Lorente, J., & Redaño, A. (1990). Rainfall rated distribution in a local scale: The case of Barcelona city. *Theoretical and Applied Climatology*, 41, 23-32.
- Myers, V.A., & Zehr, R.M., (1980). *A methodology for point to area rainfall frequency ratios*. NOAA Tech. Report NWS 24, Washington, D.C.
- Natural Environmental Research Council (NERC), (1975). *Flood Studies Report*. Vol II, Meteorological studies, Swindon, England.
- Neppel, L., Bouvier, C., et Lavabre, J. (2003). *Etude des coefficients d'abattement en région méditerranéenne*. Séminaire international d'Hydrologie des régions méditerranéennes et semiarides. Hydrology of Mediterranean and semiarid region, IAHS Publication n° 278, 276-283.
- Nguyen, V., Rousselle, J., & McPhearson, M.B. (1981). Evaluation of areal versus point rainfall with sparse data. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 8, 173-178.
- Niemczynowicz, J. (1984). *An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes*. Report No. 1005, Lunds Institute of Technology, University of Lund.
- Omolayo, A.S. (1993). On the transposition of areal reduction factors for rainfall frequency estimation. *Journal of Hydrology*, 145, 191-205.

- Roche, M., (1963). *Hydrologie de Surface*. París: Gauthier-Villars.
- Rodríguez Iturbe, I., & Mejía, J.M. (1974). On the transformation of point rainfall to areal rainfall. *Water Resources Research*, 10(4), 729-735.
- Salsón, S. (2001). *Modelo matemático para simulación numérica espacio-temporal de intensidades de lluvia en episodios torrenciales de carácter convectivo*, Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Salsón, S., & García-Bartual, R. (2003). A space-time rainfall generator for highly convective mediterranean rainstorms. *Natural Hazards and Herat Systems Sciences*, 3, 103-114.
- Sivapalan, M., & Blöschl, G. (1998). Transformation of point to areal rainfall: Intensity-duration-frequency curves. *Journal of hydrology*, 204, 150-167.
- Stewart, E.J. (1989). Areal reduction factors for desing storm construction: joint use of raingauge and radar data. *IAHS Publ. 181*, 31-49.
- Témez, J.R., (1991). *Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain*, XXIV Congreso de la IAHR, Madrid, España. pp A-33-A-40.
- Tipacamú, G., Gómez, F., y Domínguez, R. (1992). *Determinación de factores de reducción por área para el cálculo de la precipitación media de una tormenta de diseño. Aplicación a dos cuencas del río Grijalva*, XII Congreso Nacional de Hidráulica, México.
- United States Weather Bureau, (1957). *Rainfall intensity-frequency regime. Part I-The Ohio Valley*. U. S. Department of Commerce, U. S. Weather Bureau Tech. Pap. No.29, Engineering Division, Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C.
- Viessman, W. & Lewis, G. L., (1989). *Introduction to Hydrology*, New York: Intertec Educ. Public.