

ANÁLISIS SECULAR DEL RIESGO DE AGRESIVIDAD PLUVIOMETRICA EN EL SUROESTE DE ESPAÑA

Leoncio GARCÍA-BARRÓN¹, Mónica AGUILAR², María PINEDA-ROIBAS³, Julia MORALES³, Arturo SOUSA³

¹ *Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.*

² *Departamento. de Geografía Física, Universidad de Sevilla.*

³ *Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.*

leoncio@us.es | malba@us.es | jmorales@us.es | asousa@us.es

RESUMEN

La irregularidad temporal de la precipitación tiene su correspondencia en la irregularidad de los efectos ambientales que genera. La agresividad pluviométrica es un factor con gran impacto ambiental asociado, a su vez, a otros efectos (torrencialidad, escorrentías, erosividad, colmatación...). El análisis de la agresividad de la lluvia, admite un doble enfoque en función de la escala temporal: modelos de intensidad basados en registros de frecuencia sub-horaria y modelos de volumen que utilizan generalmente datos mensuales de precipitación. La disponibilidad de registros pluviométricos condiciona la metodología de análisis. En el presente estudio se define el *riesgo estimado de agresividad anual*, como un nuevo parámetro de síntesis basado en la reformulación con datos diarios de los índices de Fournier y de concentración de Oliver. La ponderación entre ambos índices se ha establecido por regresión múltiple respecto de la erosión local estimada. Consideramos que el procedimiento propuesto supera los límites de los modelos tradicionales. Con los datos de la serie histórica diaria de precipitación del Observatorio de San Fernando (1875-2010) se genera la serie interanual de riesgo de agresividad que permite caracterizarla y analizar su evolución secular.

Palabras clave: Agresividad, Precipitación, Riesgo Ambiental, Suroeste Español.

ABSTRACT

The annual rainfall irregularity has its correspondence in the irregularity of the environmental effects it generates. The rainfall aggressiveness is a factor with high environmental impact. It is associated, in turn, other effects (torrential, runoff, erosivity, silting...). Analysis of aggressiveness of rain, supports a dual approach based on the temporal scale. Intensity models are based on sub-time records frequency and volume models generally used monthly rainfall data. The availability of rainfall records determines the methodology. In the present study we define the estimated annual risk of, a new synthesis parameter. It is based on the reformulation with daily data rates Fournier and Oliver concentration. The weighting between the two indices is established by multiple regression from local erosion estimated. The proposed method overcomes the limits of traditional models. With data from the daily time series of precipitation of San Fernando Observatory (1875-2010) the annual number of aggressive risk is generated. This allows to characterize and analyze its secular evolution.

Keywords: Aggressiveness, rainfall, environmental risk, Spanish Southwest.

1. INTRODUCCIÓN

El suroeste de la península ibérica está comprendido en el dominio de clima mediterráneo influenciado por la acción de la fachada atlántica. El régimen de precipitaciones se caracteriza por un promedio anual inferior a 600 l/m^2 , sometido a marcada irregularidad interanual, con grandes oscilaciones de los totales anuales (Aguilar, 2007; García-Barrón *et al.*, 2011). Además presenta una gran irregularidad intranual, con desplazamiento mensual y estacional de las épocas de lluvia (García-Barrón *et al.*, 2013). Con frecuencia, también la precipitación anual se concentra en solo algunos días.

Consideramos que la irregularidad en la precipitación del área de estudio tiene su reflejo en la correspondiente temporalidad irregular de los efectos provocados. Para analizar los impactos ambientales de la precipitación, seleccionamos la agresividad cuyos efectos están relacionados directamente con la erosión y refleja la incidencia de la torrencialidad, avenidas, deslizamientos del terreno, desplazamiento, colmatación, etc. (Sousa *et al.*, 2013). La agresividad pluviométrica es un posible nexo de unión con el entorno natural que conecta atmósfera-lluvia-suelo-vegetación-paisaje. Por ello, pretendemos expresar mediante un solo parámetro anual el riesgo de agresividad de la precipitación y establecer pautas temporales.

La erosión del terreno es un fenómeno complejo en el que interviene, junto a la precipitación, la textura y características física y química de los suelos, la protección que ofrece la cubierta vegetal, la pendiente de las laderas, etc. En el cálculo directo del riesgo de erosión se emplea frecuentemente la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978) que incluye estos factores. En concreto, la erosividad pluviométrica, denominada factor R , depende de la intensidad con que se produce cada episodio de lluvia. Para el cálculo directo de la erosividad de regiones extensas, se recomienda (Angulo-Martínez *et al.*, 2009) la conveniencia de un conjunto de estaciones meteorológicas próximas entre sí y que cada una de ellas posea registros de precipitación de alta frecuencia durante un periodo superior a veinte años. Sin embargo, salvo las modernas estaciones meteorológicas automáticas, los observatorios tradicionales no tienen series de alta frecuencia. La ausencia de registros subhorarios en periodos históricos amplios, induce a que habitualmente la agresividad anual se calcule mediante métodos alternativos de volumen basados en datos mensuales. En este sentido, hay que destacar la utilización tradicional en estudios ambientales del índice de agresividad de Fournier (Fournier, 1960) y posteriores modificaciones I_{FM} (Modified Fournier Index, Arnoldus, 1980), complementado con el índice de concentración pluviométrica I_{PC} (Precipitation Concentration Index, Oliver, 1980).

Distintos autores e instituciones han comparado resultados de modelos de intensidad (factor R) con los obtenidos mediante modelos de volumen. El Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA, 1988), dependiente del Ministerio de Agricultura español, propuso una relación empírica que asocia localmente el factor R de USLE con el índice I_{FM} . Loureiro y Couthino (2001) estiman el factor R a partir de la precipitación mensual en el sur de Portugal. Taguas *et al.* (2013) han comparado resultados locales obtenidos por distintos procedimientos y escalas temporales de registros (minutos, diarios, mensuales); de esta forma encontraron buena relación lineal entre el índice de Fournier modificado, I_{FM} , y la erosividad lo que permite la extrapolación plurianual. Michiels *et al.* (1992) utilizó el índice de concentración (I_{PC}) para analizar la variabilidad de la precipitación en la península ibérica, y considera que este índice es adecuado para evaluar la erosividad. De Luis *et al.* (2010) a partir de los datos de un conjunto de estaciones meteorológicas, han aplicado conjuntamente el I_{FM} y el I_{PC} para

estudiar el posible incremento de erosividad en el área mediterránea española. En un estudio precedente (García-Barrón *et al.*, 2012) sobre agresividad pluviométrica se concluyó la conveniencia de utilizar conjuntamente ambos índices.

Por tanto, el análisis del impacto de la lluvia, admite un doble enfoque en función de la escala temporal: modelos de intensidad (erosividad) basados en registros de frecuencia sub-horaria, o bien modelos de volumen (agresividad) que utilizan datos mensuales de precipitación. El inconveniente de los modelos de intensidad es la carencia de series históricas adecuadas y el de los modelos de volumen es la imprecisión en el tratamiento de episodios de lluvia fuerte. Frente a ambos tipos, en el presente estudio, proponemos un modelo del *riesgo estimado de agresividad anual* que supera las citadas limitaciones. Está basado en los registros diarios de precipitación y ajustado a valores medidos de erosividad en los dos últimos decenios. El objetivo es doble: a) definir y calcular un único parámetro anual que de forma sintética estime el riesgo de agresividad de la precipitación, b) a partir de su cuantificación anual, mediante series de larga duración, analizar el comportamiento temporal y deducir las pautas en la evolución de la agresividad pluviométrica.

2. ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS

El área de estudio es el suroeste español. Por la antigüedad de sus registros, distintos autores han elegido el observatorio de San Fernando, (Rodrigo (2002); Martín-Vide y López-Bustins, (2006); Sousa *et al.*, (2010, 2013); García Barrón *et al.* (2011, 2013) para caracterizar el régimen interanual e intranual del área suroccidental española, incluido el Parque Nacional de Doñana. El Real Observatorio de la Armada (ROA) en San Fernando (36° 27' 56''N, 6° 12' 20''W) posee el centro meteorológico activo más antiguo de España, con registro de precipitaciones a partir de 1805, aunque solo están accesibles datos diarios continuados desde 1870. Para evitar posibles datos erróneos, detectados en estudios precedentes, se prescinde de los años iniciales. Por ello, el presente estudio estima el riesgo de agresividad a partir de registros diarios de precipitación desde 1875 hasta 2010. Se han aplicado pruebas de homogeneidad absoluta a la serie anual mediante AnClim (Stepanek, 2007), test T (Buishand, 1982) y la prueba de homogeneidad normalizada estándar (SNHT) para una sola serie (Alexandersson, 1986). Los resultados obtenidos avalan la calidad de la serie. La unidad de medida de precipitación se indica en l/m².

La estimación de la erosividad regional ha sido facilitada por la Red de Información Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. De las 189 estaciones automáticas existentes en Andalucía fueron seleccionadas sólo 10 con calidad estadística suficiente. Una de estas estaciones, Cádiz, es centro geográfico regional de referencia de San Fernando, donde las observaciones pluviométricas son similares y coherentes entre sí. Esto nos permite utilizar los resultados del factor R como elemento básico para establecer las relaciones con el riesgo de agresividad R_A en el área de estudio.

3. METODOLOGÍA

Como se ha indicado, distintos autores han relacionado el impacto pluviométrico con la agresividad de la lluvia, calculada mediante el Índice Modificado de Fournier (I_{FM}) o el Índice de Concentración (I_{PC}). La metodología que proponemos define un único parámetro anual, el

riesgo estimado de agresividad R_A , que incluye conjuntamente ambos índices. Además, como aportación novedosa, la definición clásica de tales índices se altera para realizar los cálculos a partir de datos diarios de precipitación. Por tanto, este nuevo indicador R_A estima de forma precisa y sintética, mediante una única variable, el efecto potencial de la agresividad de la precipitación a lo largo de cada año en el área de estudio. De esta forma es posible generar una serie plurianual que permite establecer su evolución temporal.

Para cada año, la función del riesgo estimado de agresividad R_A se obtiene como:

$$R_A = f(I_{FM}, I_{PC}) \quad (1)$$

en que I_{FM} es una adaptación del Índice de Fournier Modificado

$$I_{FM} = (\sum p_d^2) / P \quad (2)$$

I_{PC} es adaptación del Índice de Concentración de la precipitación

$$I_{PC} = 100 (\sum p_d^2) / P^2 \quad (3)$$

para p_d es la precipitación diaria ($d = 1, 2, \dots, 365$), y P la precipitación total anual correspondiente.

Ambos componentes de R_A se complementan, ya que el Índice de Fournier Modificado está afectado principalmente por la precipitación total anual, mientras el Índice de Concentración depende la distribución intranual. La función $f(I_{FM}, I_{PC})$, en que se establece la ponderación entre ambos índices, se obtiene por regresión lineal múltiple, durante los años de simultaneidad, respecto de la erosividad estimada oficialmente (Rodríguez Suriam *et al.*, 1995) por la Red de Información Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Esta estimación del factor R de erosividad se ha realizado a partir de los registros de alta frecuencia de la estación meteorológica correspondiente a la zona de estudio durante el periodo 1990-2010.

La utilización de datos diarios en el cálculo R_A posibilita el análisis temporal de larga duración e incorpora el impacto ambiental ocasionado por lluvias intensas. Por tanto, el método propuesto para el cálculo del riesgo de agresividad anual incrementa la calidad de evaluación de los modelos tradicionales de volumen y permite establecer el ajuste de la función f de riesgo por la correspondencia con los modelos de intensidad de los episodios de lluvia. Consideramos que incorpora las ventajas de ambos modelos y supera sus limitaciones. Para poner de manifiesto la irregularidad temporal de la serie interanual generada del riesgo de agresividad utilizamos, además de la tendencia y desviaciones acumuladas, el coeficiente de variación de cada serie completa, el coeficiente de variación móvil y los índices de disparidad. Esta metodología se ha comprobado adecuada y ha sido empleada por los autores en anteriores trabajos (García-Barrón *et al.*, 2011, 2013) sobre evolución de la precipitación en el suroeste español.

4. RESULTADOS Y VALORACIÓN

4.1. Sobre la distribución intranual de la precipitación

Para enmarcar la agresividad pluviométrica exponemos previamente el comportamiento intranual de la precipitación, basada en las 365 series de la misma fecha (día y mes) de años sucesivos durante el periodo de observación. Calculamos el promedio diario de precipitación y la proporción de días en los que este promedio supera los niveles de referencia, posteriormente indicados, en cada una de las fechas del año, durante los 136 años analizados. El perfil de la precipitación intranual muestra una curva unimodal asimétrica, ascendente en

otoño, suavemente descendente en invierno y primavera y con mínimos en verano. En la figura 1 destacan las grandes desviaciones positivas y negativas del promedio de precipitación diaria respecto de la línea de ajuste intranual, y la marcada oscilación incluso entre fechas consecutivas. Así, en el entorno de la época más lluviosa (final de noviembre y principios de diciembre) el rango de variación del promedio diario oscila desde $1,92 \text{ l/m}^2$ el 23-XI hasta $4,87 \text{ l/m}^2$ el 29-XI. A pesar de la longitud de las series no se produce una suavización que tienda a uniformar el comportamiento promedio de fechas próximas lo que indica que la lluvia más intensa se produce en sólo algunos días, en fechas secularmente no coincidentes.

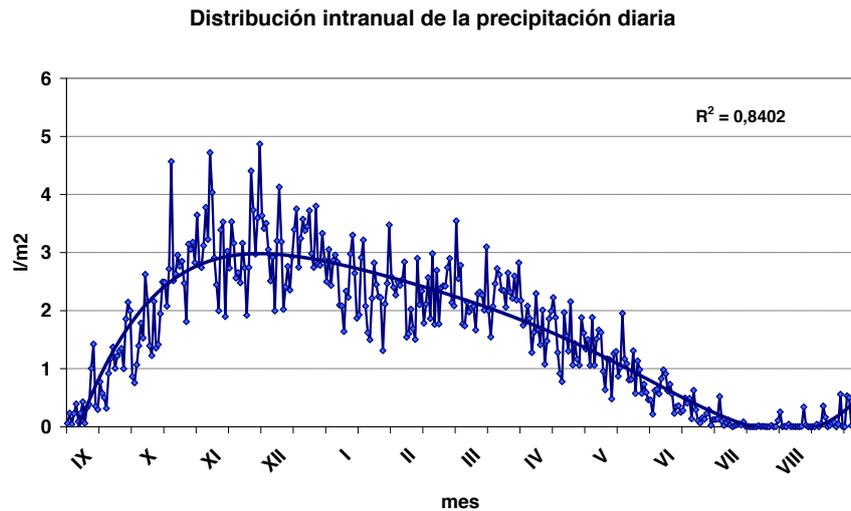


Fig. 1: *Distribución del promedio de la precipitación diaria en el suroeste español.*

Por estar directamente relacionados con el riesgo consideramos interesante cuantificar los niveles de precipitación diaria a lo largo del año. El promedio de días al año con lluvia apreciable es sólo 76 (21 %), que se reduce a 19 (5 %) los días al año que superan 10 l/m^2 y únicamente 3 días alcanzan los 30 l/m^2 . La figura 2 muestra la probabilidad por fechas de superar los niveles de $0,1 \text{ l/m}^2$ y 10 l/m^2 .

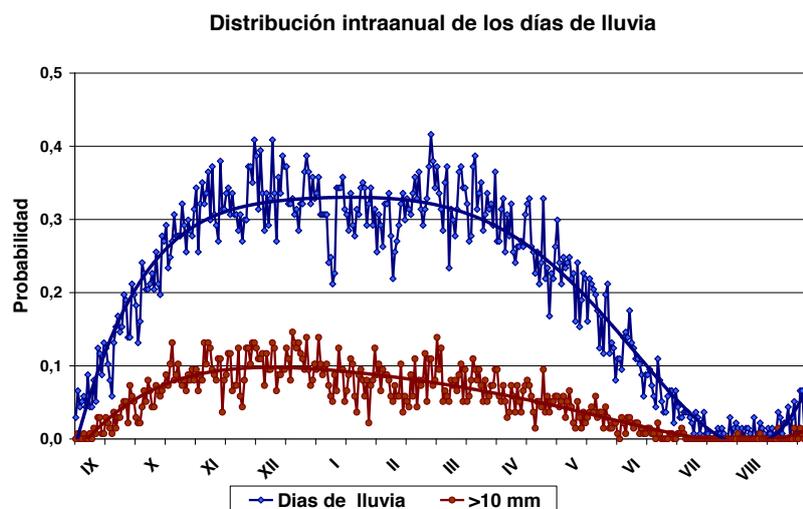


Fig. 2: *Probabilidad por fechas de días de lluvia apreciable y de superar 10 l/m^2 .*

4.2. Caracterización del riesgo de agresividad

Por ser sus componentes básicos, para determinar el riesgo de agresividad pluviométrica hemos calculado inicialmente los valores anuales de Índice Modificado de Fournier I_{MF} y el Índice de Concentración I_{PC} durante el periodo 1875-2010, según la expresión indicada en la metodología. Hemos señalado que el Índice Modificado de Fournier depende principalmente de la precipitación total anual y en la serie estudiada sus valores están comprendidos en el intervalo (10,9 a 39,3). Sin embargo, el Índice de Concentración de la Precipitación es independiente de la precipitación total y únicamente es función de la distribución intranual de la precipitación. Sus extremos teóricos son: mínimo de 0,27 en el supuesto que la equipartición uniforme entre todos los días del año de la precipitación total anual, y máximo de 100 en la hipótesis de que toda la lluvia anual se produjera en un único día. El rango real de I_{PC} de la serie de San Fernando durante el periodo de estudio es (2,0 a 7,4).

A partir de los datos mensuales de erosividad R estimados por la Consejería de Medio Ambiente hemos establecido la ecuación de la estimación lineal múltiple durante los años de simultaneidad, de 1991 a 2010. La ecuación resultante, extrapolada al periodo completo, es:

$$R_A = 145,24 I_{FM} - 341,56 I_{CP} \quad (4)$$

cuyo coeficiente de determinación $r^2 = 0,86$. El significado del signo negativo del I_{PC} , se explica porque alto índice I_{PC} corresponde con baja concentración temporal de las lluvias lo que provoca impactos menos intensos en el medio. Aplicando la ecuación a cada uno de los respectivos N valores anuales generamos la serie interanual R_A desde 1875 a 2010. [R_A en unidades R : (Megajoules \cdot mm) / (hectare \cdot hour \cdot year)]. Esta serie de riesgo estimado de agresividad de la precipitación (Figura 3) es el objeto del análisis del presente estudio.

Se ha calculado el valor medio, coeficiente de tendencia lineal, coeficiente de variación V_N y índice de disparidad general I_D del riesgo estimado de agresividad R_A para el periodo analizado 1875 a 2010. La tendencia lineal muestra ligera pendiente descendente (-3,89 und/año) pero sin significación climática, ya que la varianza explicada es inferior al uno por ciento ($R^2 < 0,1$). La evolución del valor central (1726 und), por tanto, no es suficiente predictor del comportamiento temporal del riesgo de agresividad. Muestra de ello es el elevado coeficiente de variación ($V_N = 0,47$) y del índice de disparidad general ($I_D = 0,66$) que revelan amplias fluctuaciones temporales de la serie calculada del riesgo estimado de agresividad, incluso entre años consecutivos. Los resultados del análisis temporal se recogen en la tabla 1.

R_A	Promedio	Tendencia	R^2	V_N	I_D
	1726	- 3,89	0,04	0,47	0,66

Tabla 1: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO ESTIMADO DE LA AGRESIVIDAD PLUVIOMÉTRICA R_A .

Pese a la falta de tendencia significativa, las desviaciones relativas acumuladas A_k , permiten, sin embargo, distinguir secuencias plurianuales diferenciadas que caracterizan el comportamiento interanual y, consecuentemente, detectar los tramos de alto y bajo riesgo. El valor acumulado hasta el año k se obtiene como suma, extendida a todos los años j precedentes, de las desviaciones anuales (δ_j) de R_A respecto de la media μ_N de la serie completa:

$$A_k = (\sum \delta_j) / \mu_N \quad (5)$$

donde $\delta_j = (R_{Aj} - \mu_N)$, para $j = 1, 2, \dots, k$; $k \leq N$.

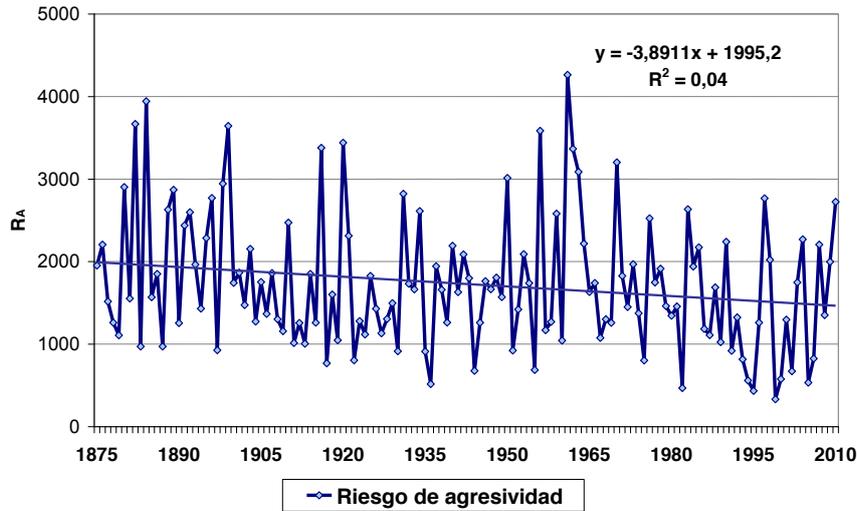


Fig.3: Evolución temporal del riesgo estimado de la agresividad pluviométrica R_A en el suroeste de España.

En la figura 4 se observa, superpuesto a los dientes de sierra, un tramo inicial ascendente hasta final del siglo XIX, que indica alta frecuencia de años con riesgo de agresividad superior al promedio de la serie. La primera mitad del siglo XX muestra un tramo descendente, formado mayoritariamente por años con riesgo de agresividad inferior a la media. Cambia de signo hacia 1960 y posteriormente se estabiliza. Destaca, en el último treintenio, una fase descendente con pendiente muy pronunciada que asociamos a un periodo de baja agresividad pluviométrica.

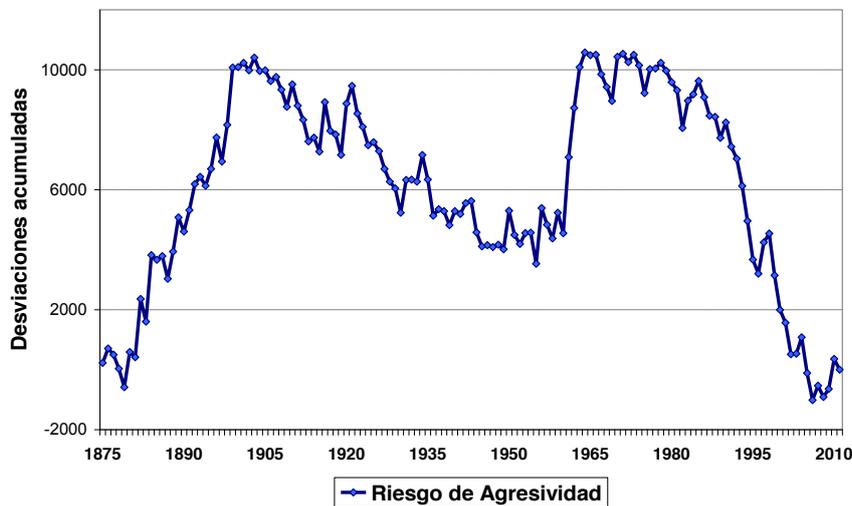


Fig. 4: Desviaciones acumuladas respecto de la media del riesgo estimado de agresividad.

4.3. Variabilidad temporal del riesgo de agresividad

La irregularidad interanual e intranual de la precipitación, da lugar a irregularidad en los efectos provocados. Dada la variabilidad general detectada del riesgo estimado de agresividad

R_A durante el periodo de estudio, interesa analizar detalladamente su evolución interanual. Para ello, calculamos el coeficiente de variación móvil por periodos de once años CV_{11} , definido como el cociente de la desviación típica de la subserie parcial formada por el año de referencia i y los diez anteriores, y su correspondiente promedio. El periodo de 11 años, coincidente con el ciclo solar, permite amortiguar los valores extremos anuales de la variabilidad del riesgo y resaltar la información sobre las pautas de su evolución temporal.

El análisis temporal de CV_{11} presenta un comportamiento cíclico con pulsación de 40 años aproximadamente, mostrado gráficamente en la figura 5. Este comportamiento cíclico es singular, y no poseemos información que haya sido detectado previamente en el análisis de variabilidad de otras variables meteorológicas en el entorno mediterráneo. Con independencia del valor anual del riesgo, el entorno de los años 1887, 1922, 1961 y 2002 presenta los picos máximos de variabilidad, con cotas superiores a 0,5, separados por las correspondiente zona valle con mínimos inferiores a 0,30. El último cuarto de siglo de la serie se caracteriza por la mayor variabilidad del riesgo de los 136 años de estudiados.

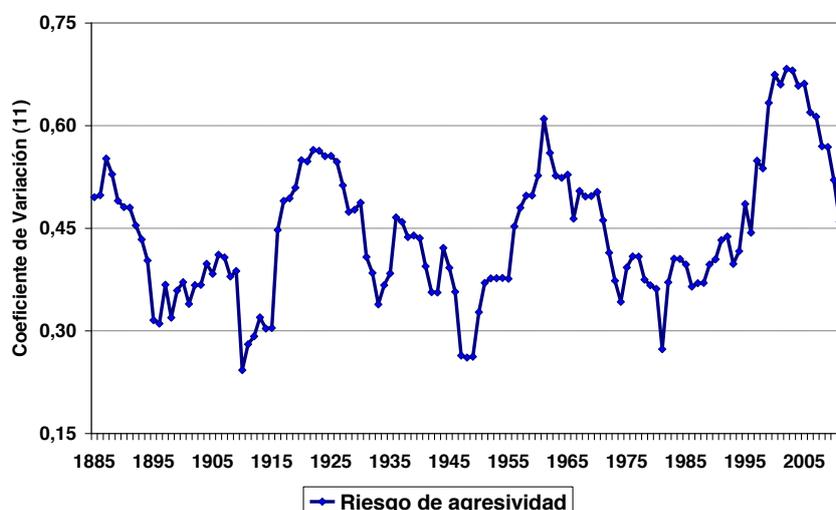


Fig. 5: *Coeficiente de variación móvil por periodos de 11 años del riesgo de agresividad*

5. CONCLUSIONES

Consideramos que la metodología propuesta es un procedimiento novedoso, adecuado para estimar el riesgo anual de agresividad pluviométrica. A partir de los índices, reformulados con datos diarios, de Fournier (I_{FM}) y de concentración de Oliver (I_{PC}) se establece la función de ponderación entre ambos índices por regresión con la erosividad local. En nuestro criterio, el procedimiento empleado para la cuantificación del riesgo anual supera las limitaciones inherentes a los modelos clásicos. Ello permite obtener la serie interanual de riesgo estimado de agresividad durante el periodo de 1875 a 2010.

El análisis temporal de esta serie muestra, sin tendencia general significativa, secuencias plurianuales de baja agresividad en la primera mitad del siglo XX y durante el último treintenio. La amplia irregularidad del riesgo de agresividad se manifiesta en alta variabilidad interanual en el conjunto de la serie analizada. Es destacable que el coeficiente de variación móvil por periodos de once años muestra un comportamiento cíclico con pulsación de 40 años

aproximadamente; el último pulso presenta durante las dos últimas décadas coeficiente de variación superior a 0,6.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Real Observatorio de la Armada de San Fernando por la cesión de registros pluviométricos y a la Consejería de Medio ambiente de la Junta de Andalucía por los datos para calcular la erosividad. Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto CGL2009-10683 y parcialmente por el proyecto 158-2010 (Organismo Autónomo Parques Nacionales).

7. REFERENCIAS

- Aguilar-Alba, M. (2007). Recent changes and tendencies in precipitation in Andalucía. En: Sousa, A., García-Barrón, L., Jurado, V. (Coords.) *Climate Change in Andalucía: trends and environmental consequences*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, pp. 97-116.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, pp. 661- 675.
- Angulo-Martínez, M.; López-Vicente, M.; Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S. (2009). “Mapping rainfall erosivity at a regional scale, a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain)”. *Hydrology and Earth Systems Science*, 13, pp. 1907-1920.
- Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation, De Boodt, M., Gabriels, D. (Eds.) *Assessment of Erosion*. John Wiley, Chichester, pp. 127-132.
- Buishand TA. (1982) “Some methods for testing the homogeneity of rainfall records”. *Journal of Hydrology*, 58, pp. 11-27.
- Fournier, F. (1960). *Climat et érosion*. Presse Universitaire de France, Paris.
- García-Barrón, L., Aguilar, M. y Sousa, A. (2011). “Evolution of annual rainfall irregularity in the southwest of the Iberian Peninsula”. *Theoretical and Applied Climatology*, 103, pp. 13-26.
- García-Barrón, L.; Morales, J.; Aguilar, M. y Sousa, A. (2012). Evolución de la agresividad pluviométrica en las cuencas hidrográficas españolas (1940-2010). *Cambio climático. Extremos e impactos*. Edit: Asociación Española de Climatología 8, pp. 329-337.
- García-Barrón, L.; Morales, J. y Sousa, A. (2013). “Characterisation of the intra-annual rainfall and its evolution (1837-2010) in the southwest of the Iberian Peninsula”. *Theoretical and Applied Climatology*, 114, pp. 445-457.
- ICONA (1988). *Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

De Luis, M.; Gonzalez-Hidalgo, J.C. y Longares L.A. (2010). "Is rainfall erosivity increasing in the Mediterranean Iberian Peninsula?" *Land Degrad. Dev.*, 21, pp. 139-144.

Martín-Vide, J. y López-Bustins, J. A. (2006). "The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology*, 26, pp. 1455-1475.

Loureiro, N.S. y Couthino, M.A. (2001). "A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data applied to the Algarve region, Portugal". *Journal of Hydrology* 250, pp. 12-18.

Michiels, P.; Gabriels, D. y Hartmann, R. (1992). "Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing monthly rainfall distribution in Spain". *Catena*, 19, pp. 43-58.

Oliver, J.E. (1980). "Monthly precipitation distribution, a comparative index". *The Professional Geographer* 32 (3), pp. 300–309.

Rodrigo, F.S. (2002). "Changes in climate variability and seasonal rainfall extremes: a case study from San Fernando (Spain), 1821–2000". *Theoretical and applied climatology*, 72, pp. 193-207.

Rodríguez Surián, M. y Sánchez Pérez, J.D. (1995) Distribución espacio-temporal de las pérdidas de suelo en Andalucía utilizando tecnología S.I.G. e imágenes de satélite. Accesible en:http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Red_informacion_ambiental/productos/Publicaciones

Sousa, A.; García-Murillo, P.; Sahin, S.; Morales, J. y García-Barrón, L. (2010). "Wetland place names as indicators of manifestations of recent climate change in SW Spain (Doñana Natural Park)". *Climatic Change* 100, pp. 525-557.

Sousa, A.; Morales, J.; García-Barrón, L. y García-Murillo, P. (2013). "Changes in the *Erica ciliaris* Loefl. ex L. peat bogs of southwestern Europe from the 17th to the 20th centuries AD". *Holocene* 23, pp. 255-269.

Stepanek P (2007). AnClim—software for time series analysis (for Windows). Department of Geography, Faculty of Natural Sciences, Masaryk University, Brno.

Taguas E.V.; Carpintero E.; Ayuso J.L. (2011). "Assessing land degradation risk through the long-term analysis of erosivity: a case study in southern Spain". *Land Degradation & Development*, 24, pp. 179-187.

Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning*. Agriculture Handbooks (USA), 537