

# LA PERSISTENCIA DE LA PRECIPITACION EN FORMA DE LLUVIA COMO INDICADOR RELATIVO DEL CAMBIO CLIMATICO

Pablo FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE HERNÁEZ

*Universidad de Cantabria. Depto. De Geografía Urbanismo y Ordenación Territorial.  
Avda. Los Castros, s/n. 39005 SANTANDER. fernandhp@unican.es*

## RESUMEN

En el presente artículo se muestra un método de trabajo y su aplicación para el estudio de la variación en la propiedad de la persistencia de la lluvia en la costa oriental del Mar Cantábrico. Los modelos markovianos sirven de base para estudiar el comportamiento de esa propiedad en la serie temporal 1931-2000 y en fragmentos temporales menores de la misma. Una vez demostrado el ajuste del modelo estadístico a todo el periodo, se ha analizado el ajuste del mismo modelo para cada década del periodo. El análisis comparado de los resultados, en términos relativos, demuestra la pérdida del carácter persistente de la precipitación en forma de lluvia a lo largo de las últimas décadas del siglo XX con respecto al décadas previas. La interpretación de las causas de esta pérdida de persistencia (NAO, la actividad humana...) pasará por discriminar la propia variabilidad natural del clima de la inducida por factores externos.

**Palabras clave:** Modelo de Markov, persistencia, variabilidad natural, Oscilación del Atlántico Norte (NAO).

## ABSTRACT

*In the following article it is defined and applied a new method to study the rainfall variation persistence in the East coast of Cantabrig Sea. Markovian models has been used to investigate the behaviour of this properties between 1931-2000 and in the decades wich form it. Firstly it has been proved the relationship between empirical data (all period and decades) and Markov theoretical model. Later on there was a comparative research that show there has been a lost of rainfall persistence during last decada in the XX century if it is compare with the 30s 40s or 50s. The reasons could be found (NAO, human activity...), if we are able to disciminate natural variability from that variability is due to external factors.*

**Key words:** Markov models, persistence, natural variability, North Atlantic Oscillation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El modo en que llueve en una región determinada del planeta tiene para los climatólogos y demás estudiosos de la atmósfera una explicación genérica que se sustenta habitualmente en los modelos de circulación atmosférica, en cuestiones orográficas o en la proximidad a masas de agua, entre otras cuestiones.

La detección de alteraciones en estos elementos estructurales resulta compleja, más aun, teniendo en cuenta el propio carácter dinámico del clima. Cuando somos capaces de identificar los cambios estructurales del sistema, la dificultad se traslada al hecho de poder señalar las causas que los provocan. Es aquí donde suelen plantearse nuevas incógnitas ante la existencia de diversos promotores del mencionado cambio (variabilidad natural, acción antrópica, alteraciones solares...).

La persistencia de la lluvia puede ser considerada una propiedad estructural de la precipitación en gran parte de la península ibérica en general y en la Costa Cantábrica en particular. Esta propiedad será el objeto básico de estudio a lo largo del presente artículo.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

El primer objetivo perseguido en el presente artículo consiste en el desarrollo de una metodología de trabajo que permita acercarnos al estudio del comportamiento de la variabilidad natural de la persistencia de la precipitación en forma de lluvia, a partir del modelo probabilístico de Markov de segundo orden verificando el ajuste de este modelo a la realidad empírica.

La constatación del ajuste del modelo estadístico-probabilísticos de Markov de segundo orden a la persistencia del fenómeno, tanto para toda la serie de estudio como para cada una de las décadas individualizadas, nos abre las puertas del segundo objetivo del estudio.

Apoyándonos en esta relación teórico-empírica realizaremos una cuantificación relativa de la variación de la persistencia de la lluvia a lo largo del siglo XX en la zona del Cantábrico Oriental a partir del análisis de las diferencias en los ajustes estadísticos entre las décadas y toda la serie.

La hipótesis de trabajo que se defiende en esta investigación se sustenta en la idea de que, aun siendo la persistencia una propiedad fundamental de la precipitación en forma de lluvia en toda la zona de estudio, el modo en que se han distribuido las precipitaciones en forma de lluvia en la zona de estudio ha perdido persistencia, en términos relativos, en las últimas décadas del siglo XX con respecto a las décadas de los años 30, 40 y 50 de mencionado siglo.

## **3. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Estamos acostumbrados a opiniones tales como las que se recogen diversos autores (URRESTARAZU, 1982) afirmando que la persistencia de la precipitación en el área de estudio radica ya en el predominio de la influencia de familias de borrascas y frentes del oeste, tipos de tiempo que son ya en sí mismos persistentes.

Los estudios de la persistencia como propiedad particular, tienen ya un claro precursor en el meteorólogo francés BESSON quien formuló en año 1924 el coeficiente que lleva su mismo nombre y que con posterioridad fue aplicado por diferentes estudiosos de la materia si bien un error en la formulación del mismo en el Manual sobre Métodos Estadísticos en Meteorología de BROOKS y CARRUTHER (1953) provocó que diferentes autores españoles calcularan el coeficiente de forma diferente a como el propio Besson lo había hecho para París (URIARTE, 1983).

Posteriormente, algunos autores como (MATEO GONZÁLEZ, 1965) daban una explicación al hecho de la persistencia apoyándose en el efecto barrera que la cornisa cantábrica ejercía sobre las masas nubosas provocando “precipitaciones de detención o estancamiento”.

Mencionada fue rebatida por otros autores (IRAUNDEGUI, 1969) a partir de la idea de que la orografía se encargaba de romper la secuencia lluviosas y la persistencia natural de los frentes que llegan.

Esta hipótesis será superada al comprobarse que la persistencia no era exclusiva de ámbitos cantábricos sino que hay lugares como Salamanca donde esta propiedad tenían incluso mayor relevancia que en la zona cantábrica (MENDAÑA, 1969).

Paralelamente, por los años sesenta surgen los primeros trabajos probabilísticos apoyados en la teoría de Markov aplicados a secuencias lluviosas (GABRIEL y NEUMANN, 1962).

En España son destacables diversos trabajos aplicados mediante la técnica markoviana, desde los estudios de las precipitaciones en el litoral mediterráneo desarrollados a lo largo de los años ochenta (MARTIN-VIDE, 1989) hasta su aplicación al estudio de la sequía en la península ibérica (GOMEZ NAVARRO, 1997).

#### **4. FUENTES Y METODOLOGÍA**

Las fuentes empleadas para el desarrollo del trabajo han sido los datos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología (INM) en la estación de Igeldo para el periodo 1931-2000.

Para poder demostrar la hipótesis enunciada resulta necesario, en primer término, verificar que el comportamiento de la persistencia de la precipitación en la zona cantábrica se ajusta a los modelos markovianos de segundo orden.

Con esta idea se ha definido la estructura de la precipitación mediante la generación de rachas a partir del umbral de 3 mm. Se trata de un valor de corte con un claro efecto de filtrado mediante el que la longitud de las rachas se ve reducida con respecto a la realidad y se potencia la componente estructural de la precipitación.

Tras el cálculo de las probabilidades empíricas para cada tipo de racha, una vez definidos y contabilizados los tipos de enlace y estimadas las probabilidades markovianas de segundo orden se contrastó el resultado estadístico con la realidad empírica para todo el periodo de estudio mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

En segundo lugar, el estudio analiza el comportamiento individual de cada una de las décadas con respecto al modelo probabilístico de segundo orden de igual manera.

A partir de aquí, el estudio trata de cuantificar, en términos relativos, la variación a que han estado sujetos los coeficientes de correlación de las décadas en relación con el ajuste estimado, entre lo teórico y lo empírico, para todo el período.

La puesta en contraste de los ajustes de la persistencia en cada una de las décadas con respecto al modelo markoviano aplicable a toda la serie permiten mantener la hipótesis inicial de que el

comportamiento de la persistencia de la precipitación en forma de lluvia en la zona del Golfo de Vizcaya ha sufrido una importante variación en las últimas décadas del pasado siglo.

## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En primer lugar ha resultado necesario identificar la estructura de la precipitación en forma de lluvia a partir del umbral de 3mm. para el periodo 1931-00 y estimar las probabilidades empíricas de cada tipo de racha identificada. En la figura 1 puede verse la distribución de frecuencias de las rachas obtenidas para el umbral mencionado.

De igual modo resulta necesario definir las probabilidades de primero y segundo ordenes a partir del modelo estocástico markoviano apoyado precisamente en el hecho de la persistencia de un evento.

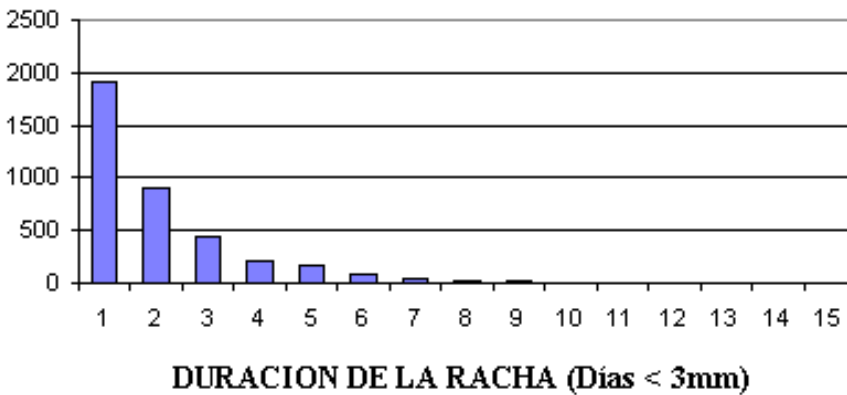


Figura 1: Estructura de la precipitación en Igeldo, 1931-2000. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del I.N.M.)

Tabla 1: Número de Rachas, Probabilidades Empíricas y de Markov. (Igeldo 1931-2000).

	Núm.	Prob. Emp.	Prob. MK 2
Rachas 1	1512	51,569	51,58 %
Rachas 2	713	24,318	22,49 %
Rachas 3	317	10,812	12,04 %
Rachas 4	156	5,321	6,44 %
Rachas 5	98	3,342	3,45 %
Rachas 6	67	2,285	1,84 %
Rachas 7	31	1,057	0,98 %
Rachas 8	17	0,580	0,52 %
Rachas 9	6	0,205	0,28 %
Rachas 10	5	0,171	0,15 %

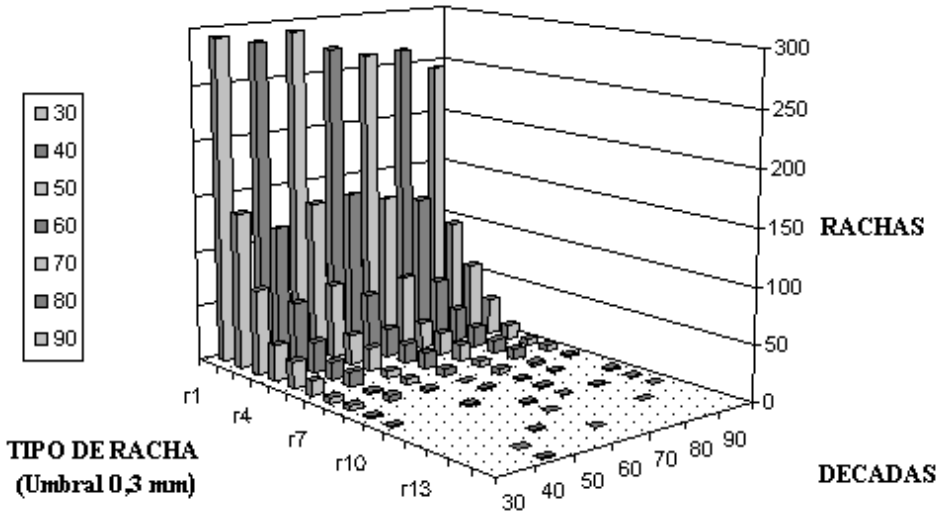


Figura 2: La precipitación en forma de lluvia en Igeldo, 1931-2000. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del I.N.M.)

A partir de estos datos se ha podido constatar el hecho de que el modelo de Markov de segundo orden explica, en gran medida, el comportamiento de la precipitación en la zona de estudio para el periodo 1931-00. El coeficiente de correlación entre las probabilidades empíricas y las teóricas alcanza un 0,99907 según Pearson ( $P = 0,90$ ). La interpretación que subyace en este ajuste es el hecho de que del comportamiento de la precipitación en forma de lluvia en la zona de Igeldo se ajusta plenamente a la teoría del modelo markoviano para el periodo 1931-2000 la cual tiene su base conceptual en el hecho de la persistencia.

El interés del estudio se traslada en este momento al análisis del comportamiento de la persistencia para cada una de las décadas del periodo en cuestión. En la figura 2 se muestra el número de secuencias lluviosas, por tipo de racha, registradas para cada una de las décadas.

Con el paso de las décadas se observa un progresivo descenso en el número de rachas de un día, no siendo habitual la presencia de secuencias lluviosas que superen los siete u ocho días de lluvia por encima del valor de 3mm.

La representación gráfica de las probabilidades empíricas (PE) y de las probabilidades de Markov de segundo orden han sido recogidas en la figura 3.

Si atendemos al cálculo de las probabilidades tanto empíricas como teóricas, encontramos que en todas las décadas los ajustes son muy elevados. La persistencia sigue siendo, en términos generales, una propiedad fundamental en la estructura de la precipitación en todas y cada una de las décadas consideradas.

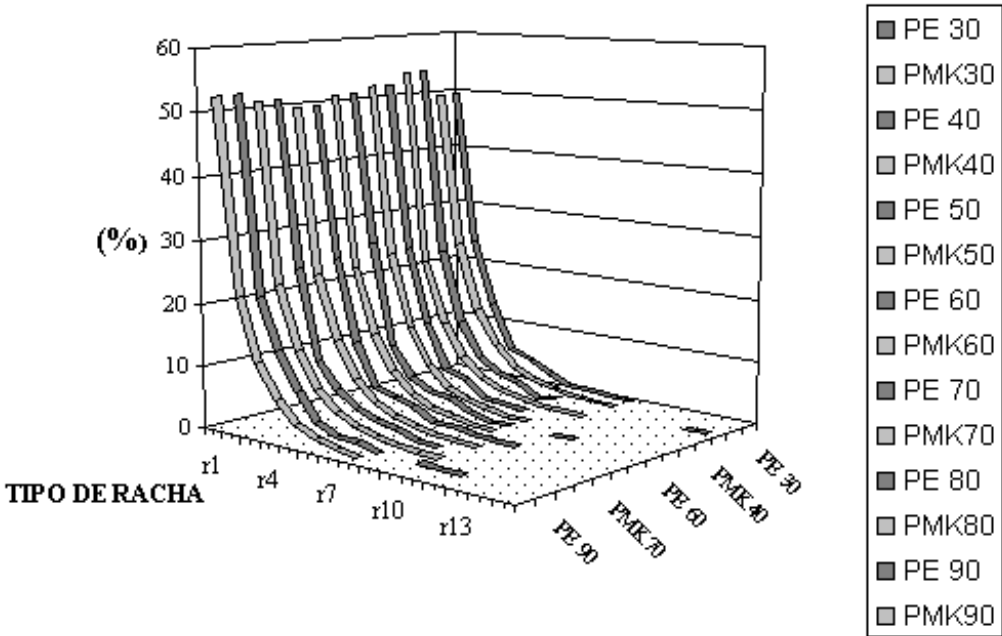


Figura 3: Probabilidades empíricas y markovianas de segundo orden en Igeldo, 1931-2000. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del I.N.M.)

Tabla 2: Coeficientes de correlación según Pearson por décadas. (<sup>1</sup>Debemos de tener en cuenta que para la última década faltan un conjunto importante de registros del año 2000).

PERIODO	(r)
31-40	0,9995938
41-50	0,9992327
51-60	0,9994188
61-70	0,9949710
71-80	0,9974161
81-90	0,9975632
91-00 <sup>1</sup>	0,9991542

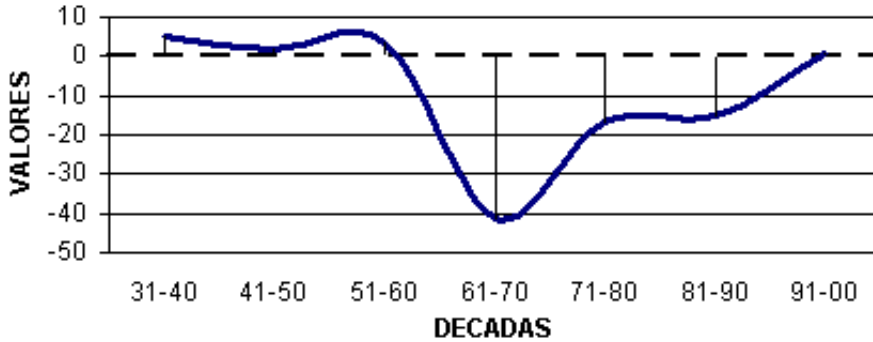


Figura 4: Variación relativa de la persistencia en Igeldo, 1931-2000. (Faltan los datos de finales de 1999 y de 2000). (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del I.N.M.)

Sin embargo lo realmente significativo de estos resultados vendrá dado, no por los elevados coeficientes de correlación ya previsible a partir del estudio realizado para toda la serie, sino por la forma y la magnitud en que los resultados del ajuste para las décadas se distancian del resultado del ajuste del modelo global.

En este sentido, las décadas con valores de correlación por encima del ajuste del modelo a todo el periodo, (30s, 40s, 50s) pueden ser entendidas como décadas en las que la persistencia fue muy importante en el comportamiento estructural de la precipitación en forma de lluvia en la zona de San Sebastián.

Por el contrario, las décadas con valores de correlación por debajo del ajuste del modelo a todo el periodo de análisis se deben de entender como épocas en las que pierde fuerza la propiedad de la persistencia, tanta más cuanto mayor es la diferencia con respecto al modelo de Markov de segundo orden.

Durante la década de los 30, 40 y 50 el ajuste del modelo a la realidad empírica ( $r = 0.99959388$ ,  $0.99923273$  y  $0.9994189$ , respectivamente) resultó ser mayor que para todo el periodo de estudio ( $r = 0.9990751$ ). Estas décadas pueden ser consideradas como periodos en los que la persistencia de la precipitación fue muy significativa. Sin embargo, la década de los años 30 y la de los 50 superan en persistencia a la de los años 40 lograr un ajuste al modelo probabilístico superior. En líneas generales las tres décadas tienen un comportamiento similar entre ellas con escasa variación en el ajuste al modelo mientras que muestran un comportamiento muy diferente con respecto a los años posteriores.

El gran contraste en cuanto a la estructura de la precipitación se produce en la siguiente década (1961-70) cuando la realidad empírica se aleja bruscamente del comportamiento habitual de las décadas pasadas tomando ahora un carácter contrario que mantendrá, en mayor o menor grado, hasta la última década del siglo XX

## 6. CONCLUSIONES

Comenzaremos el apartado de conclusiones diciendo que todos los comentarios realizados anteriormente deben de entenderse dentro del hecho de que la persistencia sigue siendo la característica fundamental de la precipitación en forma de lluvia en la zona de estudio y en gran parte de la península ibérica debido al carácter frontal de gran parte de los eventos lluviosos.

El estudio demuestra la validez de los modelos probabilísticos de Markov para explicar el comportamiento de la lluvia en la zona del Golfo de Vizcaya tanto para periodos largos (1931-1999) como para periodos más cortos (décadas).

De igual modo, el análisis comparado de los coeficientes de correlación de las décadas con respecto al ajuste al modelo de toda la serie, muestra la posición relativa de cada década con respecto al comportamiento estructural de la lluvia para todo el periodo desprendiéndose con claridad la idea que este tipo de desviaciones con respecto al modelo general no parecen producirse de forma aleatoria.

Resulta posible discriminar a partir de los resultados dos periodos claramente diferenciados. El primero de ellos entre 1931 y 1960 donde la persistencia relativa de la lluvia fue muy elevada y una segunda fase a partir de 1960 hasta finales de siglo donde la persistencia relativa de la precipitación toma un comportamiento diferente.

El ascenso producido en la última década debe de ser matizado por el hecho de no haber dispuesto de los datos del invierno de 1999 y del año 2000 siendo previsible que una vez añadida esta información la pérdida de persistencia sea mayor que la indicada en la figura 4.

Este primer avance ha servido de pretest y sienta las bases de un segundo trabajo, en vías de desarrollo, donde se contrastan los totales de precipitación registrados para cada una de estas décadas con el fin de verificar si la alteración de la persistencia ha sido debida a un descenso en la cantidad de precipitación o por el contrario no han existido pérdidas en las disponibilidades de los recursos hídricos pero si ha habido un incremento de la brusquedad con que se hacen presentes en los eventos lluviosos.

Bajo este contexto se trata de dar una explicación a los resultados obtenidos bien a partir del análisis de los comportamientos periódicos de la N.A.O., bien, a partir de la presencia de una variabilidad externa a la propia variabilidad natural que nos permita comprender la nueva tendencia existente.

## 7. BIBLIOGRAFIA

BARNSTON, A.G., LIVEZEY, R.E. (1987): Classification, seasonability and persistence of flow frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1083-1126.

BESSION, L (1924): On the probability of rain. *Monthly Weather Review*, 52. (Traducción del artículo publicado en la Academia de las Ciencias de París).

GARCIA MENDAÑA, M.S. (1969): Persistencia de los días con y sin precipitación en Salamanca. *Revista de Geografía*, 28. Madrid.



GOMEZ NAVARRO, L. (1997): *Regionalización climática de la España Peninsular mediante el análisis Markoviano de las sequías*. Tesis Doctoral.

MARTÍN VIDE, J. *et al.* (1989): La bondad de la cadena de Markov de primer orden en el cálculo de la probabilidad de secuencias lluviosas y secas en Catalunya . *Notas de Geografía Física*, 18, pp. 51-57.

MATEO GONZALEZ, P. (1965): *Distribución de las frecuencias de las cantidades de precipitación en el Norte de España*. Servicio Meteorológico Nacional. Publicaciones Serie A (Memorias) Núm. 39. Madrid.

MATEO GONZALEZ, P. (1965): *Persistencia de los días con precipitación y sin precipitación en Gijón*. Servicio Meteorológico Nacional. Publicaciones Serie A (Memorias), Núm. 40. Madrid.

PEREZ-CUEVA, A., LOPEZ BAEZA, E., TAMAYO CARMONA, J. (Eds.) (2001): *El tiempo del clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, nº2.

URIARTE, A. (1983): *Régimen de precipitaciones en la costa NW y N de la Península Ibérica*. Caja de Ahorros Provincial de Guipúzcoa.

RASO, J.M. y MARTIN-VIDE, J. (Eds.) (1999): *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 1.

RUIZ URRESTARAZU, E. (1982): *La transición climática del Cantábrico oriental al valle medio del Ebro*. Diputación Foral de Alava. Vitoria-Gasteiz.

