

ESTRUCTURA DEL REGIMEN DE PRECIPITACION DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES
Olga Clorinda Penalba y Walter M. Vargas
Departamento de Meteorología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

Los objetivos fundamentales hacia los que apunta este trabajo son: sintetizar el régimen anual y el estacional de la lluvia en Buenos Aires y relacionarlos en otras investigaciones futuras, con los correspondientes regímenes de otras variables (presión, humedad).

Se supone que tanto la lluvia mensual como la anual de Buenos Aires ($34^{\circ} 35'S$, $58^{\circ} 29'W$) están representadas por la serie de precipitación mensual del Observatorio Central en cuanto a algunas propiedades de interés climático. Mediante las características del espectro de Fourier se discriminan los posibles grupos o tipos de marchas anuales. Se analiza la eficacia de distintos filtros de la onda anual.

Los resultados muestran que las series de lluvias mensuales de cada año se pueden agrupar por medio del armónico que explica la mayor varianza. No obstante, al aumentar las discriminaciones incluyendo el segundo armónico en orden de importancia respecto a la varianza explicada, se manifiestan signos de sobreclasificación. Se encuentra que las diferentes componentes de los grupos no están asociadas a características de la lluvia anual, tales como ocurrencia de años máximos o mínimos. Esto implicaría que el tipo de lluvia en el año, no puede ser identificado con los espectros de Fourier aplicados a la serie de lluvias mensuales o que la variabilidad de esta estructura hace que la probabilidad de repetición de una marcha anual (filtrada la onda anual) sea baja.

ABSTRACT

The main objectives toward which this paper is directed are: to define a synthesis of the annual and seasonal regimes of rainfall in Buenos Aires and to relate it a posteriori with the corresponding in other variables (pressure, humidity).

It is assumed that mensual and annual rainfalls in Buenos Aires ($34^{\circ} 35'S$, $58^{\circ} 29'W$) are represented by a series of the Central Observatory in matter of some structures of climatologic interest. Possible groups or types of annual variation discriminated by means of their Fourier spectrum

characteristics in a 123 years period were investigated. Furthermore, the influence and efficiency of distinct filters of the annual cycle were analyzed. The results show that monthly series of each year may be grouped by means of the harmonic which explains the greatest variance. Notwithstanding, when increasing discriminations, by including the second harmonic in order of importance with respect to the explained variance, signs of overclassification are perceived. The different structures implied by the groups are not associated by particular characteristics of the annual rainfall, such as occurrence of maximum and minimum years. This would imply that the type of year according to its annual total cannot be discriminated with Fourier spectra or that the variability of this structure determines that the probability of the repetition of an annual variation, filtered the annual cycle, is low.

INTRODUCCION

En años recientes, la importancia del estudio de la lluvia, en varias escalas temporales, ha aumentado por las diversas exigencias que plantean las aplicaciones y la búsqueda de predictores climáticos. Es dentro de este marco, que se analiza la precipitación mensual del Observatorio Central Buenos Aires y se realiza un diagnóstico que permite aplicaciones diversas: estimar la representatividad regional de esta serie, fundamentalmente de extremos, con el objetivo a posteriori, de un pronóstico estadístico. El estudio se efectúa a través de técnicas matemáticas sencillas con el propósito de tipificar y sintetizar el régimen anual y estacional de la lluvia para relacionarlo con otras variables.

En otros trabajos, los autores (Vargas y Penalba, 1986) han estudiado la estabilidad de dicha serie como así también la existencia de una tendencia tanto en la lluvia mensual como en la anual y los posibles cambios que pudo haber producido el gran crecimiento de la edificación de la ciudad de Buenos Aires. Machado (1955) y Marchetti (1952,1953) estudiaron el régimen de intensidades de lluvia en Buenos Aires. En general, los resultados indican que no existe efecto antropogénico y que la serie es estable a partir de 1861.

DATOS Y METODOLOGIA UTILIZADAS

Los datos utilizados fueron las precipitaciones mensuales del Observatorio Central Buenos Aires (34° 35' S, 58° 29' W) en el período 1861-1983.

Como el objetivo de este trabajo es poder encontrar una clasificación para las distintas marchas anuales de la lluvia, se las agrupó por medio de la

armónica de mayor varianza explicada, surgida de la aplicación del análisis de Fourier para cada uno de los 123 años (Panofsky and Brier, 1963). Esta clasificación no incluye como parámetro de la misma a la fase de las armónicas, lo que implica que la marcha anual promedio de cada grupo podría no estar mayormente explicado por la armónica que lo define. Una limitación del método de clasificación utilizado es que la cantidad máxima de grupos está prefijada, debido a que en el análisis de Fourier el número de armónicas queda determinado por el lapso analizado.

Como en los datos utilizados está presente la onda estacional y ésta podría generar agrupamientos obvios, se filtró dicho efecto de dos formas distintas: a) dividiendo a cada dato por la reconstrucción de la onda astronómica del año promedio de toda la serie a través del análisis de Fourier (Filtro 1) (Mitchell, 1966) y b) representación decílica (Filtro 2). Para verificar, entre otras cosas, la eficiencia de los filtros se aplicó análisis espectral a las tres series, mediante la técnica de Blackman-Tukey.

RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de la aplicación del criterio explicado anteriormente a cada uno de los años de precipitación mensual, se obtuvieron los resultados de la Tabla I. Una inferencia importante de esta clasificación es que aparecen todos los grupos posibles. La varianza explicada por la armónica que define el grupo puede tener variabilidades que van desde gran parte de la varianza total hasta un pequeño porcentaje, es por esa razón que luego se intentó una subclasificación. De esta primera clasificación se puede ver que el mayor número de años de lluvia está explicado por la armónica 1. Esto podría deberse a la onda estacional, aunque ello no define todas las posibilidades de ocurrencia, sólo un 30%.

Debido a que este efecto es un hecho conocido y además, podría oscurecer otros tipos de influencias, se construyó las series de datos filtrados. Esta se obtuvo dividiendo a cada dato de la serie original por su correspondiente valor en el tiempo de la onda astronómica. La estimación de esta onda se efectuó a través de las armónicas predominantes de los resultados del análisis de Fourier aplicados a la marcha promedio de los 123 años, resultando que la onda estacional está representada en un 89.5% de la varianza total por las armónicas 1, 2 y 4.

Se agrupó esta serie filtrada (Filtro 1) aplicando el procedimiento explicado anteriormente. Uno de los efectos del filtrado fue que había varios casos en los cuales el mayor porcentaje explicado era compartido por dos armónicas, entonces a ese año se lo consideró como integrante de dos grupos (Tabla

1). Si se comparan las frecuencias obtenidas en ambos casos, se observa que aunque el ordenamiento en función de éstas es el mismo, un efecto similar al estacional se conserva, a pesar del filtro. Esto puede tener varias interpretaciones, o el filtro no es el adecuado o la onda estacional no es un efecto aditivo respecto a los mecanismos que provocan la lluvia en Buenos Aires. Debido a esto, se analizó la permanencia o no de los años en el mismo grupo entre la serie original y la filtrada, resultando un porcentaje de coincidencia considerablemente alto; con lo cual, el efecto astronómico podría ser multiplicativo además de mayoritario (Tabla II).

Aunque la cantidad de casos de no coincidencia fue pequeña, se trató de averiguar si esos años tenían alguna característica en común. Los resultados mostraron que la varianza explicada por la armónica que define al grupo, en la primera clasificación es baja en esos años y comparable en orden, al menos, con la segunda armónica más importante. Esto no es una explicación exclusiva para estos años, ya que ocurre lo mismo en algunos años coincidentes.

Para estimar la efectividad real del filtro utilizado se aplicó el espectro de poder a las dos series. Las estimaciones espectrales empíricas y teóricas de las figuras 1 y 2 muestran que en principio el filtro es efectivo, ya que la onda estacional, evidente en la serie original, desaparece claramente en la filtrada. Esto avalaría, que no es el efecto estacional el que define mayormente la clasificación en el segundo agrupamiento.

Otra forma de amortiguar dicho efecto y de equiparar los máximos y mínimos en cada mes es representar a cada dato por medio del decil al que pertenece. Debido a que la posible tendencia existente en la serie puede acentuarse a través de esta transformación, se tomó el período 1876-1983 para este caso (Filtro 2).

Continuando con la clasificación se procedió metodológicamente como en los casos anteriores. Se puede observar que al comparar los resultados obtenidos con los de las dos series halladas anteriormente, las frecuencias, en los grupos, en este caso sufren alteraciones (Tabla I). Estas se materializan en que el segundo y tercer grupo, más importante respecto a las frecuencias, son representados por distintas armónicas. Es posible concluir, que las dos formas de filtro afectan a la serie de distinta manera o más precisamente a los resultados del espectro de Fourier. Las causas de esto podrían deberse a que la precipitación considerada, no debida al efecto astronómico, no es aditiva respecto a aquél.

Con el objeto de aclarar las coincidencias y discrepancias entre el agrupamiento de las dos series filtradas, se procedió a analizar los años que pertenecen al mismo grupo. Aunque el porcentaje de coincidencia entre lo que ocurre con el filtro 1 y 2 es menor que en la comparación anterior, es aún alto

(Tabla II). Al analizar el porcentaje de la armónica que define el grupo en los casos no coincidentes para las dos series, éste era menor al 50% de la varianza total, repitiéndose lo ocurrido en la comparación con la serie original.

Continuando con el estudio de la permanencia de los años en el mismo grupo y su independencia del tipo de filtro, se encontró que en promedio, existe un 35% de casos en donde cada año conserva la misma estructura espectral para las series filtradas (Tabla II)(coincidencia total). Esto ocurre si se toma para la clasificación de cada año, además de la armónica de mayor varianza, las significativas que le sucede en importancia.

Por otra parte, fijada una varianza acumulada del 70% explicada por las dos primeras armónicas de cada grupo, un 63% de los casos acumulan valores superiores y un 8% excede el 90% de la varianza total, en las series de deciles. En la otra serie filtrada resultó que un 36% de los casos era mayor al 70% y sólo un caso mayor al 90% de la varianza total. Esto indicaría que si se expresa la serie con deciles se necesitaría menos cantidad de armónicas para representar los años en la clasificación. Este resultado y el hecho de que las armónicas que definen los grupos más frecuentes son, los que predominan en la onda estacional indicaría en el caso de los deciles, una influencia aún del efecto astronómico. Sin embargo, la estimación espectral no confirma tal inferencia (Figura 3).

Como se mencionó anteriormente, la varianza explicada de la armónica que define al grupo tiene un amplio rango de variabilidad. Debido a esto, se intentó una segunda clasificación pero ahora solamente para las series filtradas, que consistió en tomar además de la primera armónica, la segunda que le sucede en orden. La Tabla III muestra los resultados obtenidos para las dos series. Para el filtro 1 se volvió a repetir el hecho que al menos dos armónicas compartían el mismo porcentaje explicado. A su vez, aparecen casi todos los grupos posibles, cuyos números de componentes, si fuesen idénticamente probables, serían 4 y 5 para ambos filtros. De hecho esto no ocurre y existen grupos preferenciales de ocurrencia tales como el 1-2 en ambas y 4-3 y 5-2 en una y otra muestra. También las frecuencias relativas no varían mucho salvo para los grupos 3-4 y 5-2. La frecuencia mayoritaria es la que corresponde al grupo definido por la onda 1-2, este orden es coincidente con el que tiene la onda estacional. Esto confirmaría que es posible que el efecto astronómico no sea totalmente filtrable. La dificultad de extraerlo reside en que la onda astronómica es importante pero no definitiva y tan notable en la lluvia como lo es en otras variables, como por ejemplo en la temperatura.

Uno de los objetivos de este trabajo es poder inferir si existe relación entre cada uno de los grupos y la lluvia anual extrema en Buenos Aires. Para

ello, se fragmentó a la función de distribución de la precipitación anual en tres, obteniendo de esta forma dividida a la serie en tres grupos: años secos, medios y húmedos y los límites fueron 810 mm y 1150 mm. Luego, se estudió a que grupo de la segunda clasificación de las series filtradas pertenecen cada uno de los años. De la Tabla IV se puede observar que no existen grupos con frecuencias significativamente diferentes para los años extremos (secos y húmedos) de las series filtradas.

Cabe mencionar que con estos elementos, el agrupamiento con la inclusión de las primeras tres armónicas puede llevar a una sobreclasificación sin otro interés práctico, que aquel de verificar la variabilidad de la estructura espectral mensual de la lluvia anual.

CONCLUSIONES

- Las clasificaciones no incluyen como parámetro de las mismas a la fase de la armónica que define al grupo, lo cual implica que el año promedio de éste podría no estar mayormente explicado por ésta propiedad.
- En la primera clasificación aparecen todos los grupos posibles y no se observó un predominio de alguna onda en especial en ninguna de las tres series. A su vez, la armónica que define el grupo tiene un amplio rango de variabilidad. La varianza explicada de ésta es, en algunos casos baja y en otros comparable en orden con la segunda armónica más importante.
- Al realizar la primera clasificación con las series filtradas, se observa que el ordenamiento en función de las frecuencias obtenidas en cada grupo, se conserva en mayor o menor grado, según la muestra. Por lo tanto, los dos filtros afectan en alguna forma a los resultados del espectro de Fourier.
- Para la representación decílica existe un alto porcentaje de casos donde la varianza explicada de las dos primeras armónicas de cada grupo acumulan valores superiores al 70%. Lo cual indicaría que se necesitaría menos cantidad de armónicas para representar los años en esta muestra, cosa que no ocurre en la otra serie filtrada.
- Tanto en la primera como en la segunda clasificación se observó el hecho que al menos dos armónicas compartían el mismo porcentaje explicado para el filtro 1.
- En la segunda clasificación existieron grupos preferenciales de ocurrencia para las series filtradas, como por ejemplo la onda 1-2. A través de esto y de conclusiones previas es posible inferir que el efecto astronómico no es totalmente filtrable ya que no es un efecto aditivo respecto a los mecanismos que provocan la lluvia.
- Al relacionar los grupos de esta clasificación con años extremos de precipi-

tación se observó que no existían grupos preferenciales para la ocurrencia de estos casos.

- Existe un 35% de los casos en donde cada año conserva la misma estructura para las series filtradas.

REFERENCIAS

- Machado, E.A. y Marchetti, A.A.: Régimen de días de lluvia en la República Argentina, *Meteoros*, Nº 4, 1955.
- Marchetti, A.A.: Frecuencia de las lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires, *Meteoros*, Nº 1-2, 1952.
- Marchetti, A.A.: Probabilidad de las lluvias intensas en la ciudad de Buenos Aires, *Meteoros*, Nº 2-3, 1953.
- Mitchell, J.M.: Climatic Change, OMM Tech. Note Nº 79, Génova, 1966.
- Panofsky, H.A. and Brier, G.W.: Some Applications of Statistics to Meteorology, The Pennsylvania State University, University Park, 1963.
- Vargas, W.M., Penalba, O.C.: Análisis del posible efecto de la ciudad de Buenos Aires, *Geoacta*, 1986, en publicación.
- Vargas, W.M., Penalba, O.C.: Análisis de la estabilidad de estimaciones estadísticas en series climáticas de Buenos Aires, *Meteorológica*, 1986, en publicación.

Tabla I

Frecuencias absolutas y relativas de ocurrencia de años de precipitación mensual dentro de los grupos dados por el orden de la armónica de mayor varianza explicada.

Grupos*	Precipitación Mensual		Filtro 1		Filtro 2	
	Frecuencias		Frecuencias		Frecuencias	
	Absolutas	Relativas %	Absolutas	Relativas %	Absolutas	Relativas %
1	36	30	30	24	29	26
2	22	18	23	18	23	21
3	12	10	17	13	18	16
4	25	20	27	21	19	17
5	23	19	24	19	18	16
6	5	4	6	5	2	2

* según orden armónica

Tabla II

Porcentajes de coincidencias parcial y total de años de precipitación para cada grupo.

Grupos*	Porcentaje de coincidencia de años dentro de los grupos		
	Precipitación mensual y Filtro 1	Parcial Filtro 1 y 2	Total Filtro 1 y 2
1	89	66	34
2	89	65	35
3	69	78	33
4	91	89	37
5	89	89	33
6	75	50	50

* según orden armónica

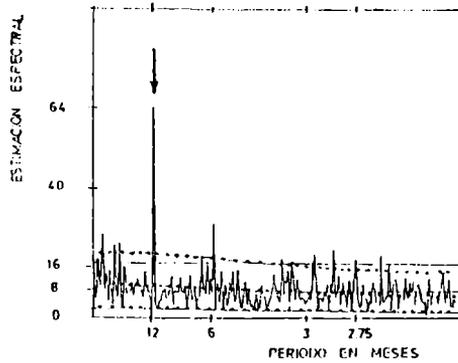


Figura 1: Estimación espectral de la precipitación mensual de Buenos Aires (lags máximo=448).

-*-*-*-* espectro Markoviano
 ----- espectro aleatorio.-

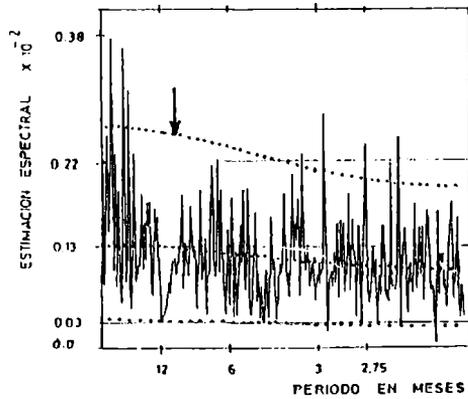


Figura 2: Estimación espectral de la precipitación filtrada mensual de Buenos Aires (lags máximo=448).

-*-*-*-* espectro Markoviano
 ----- espectro aleatorio.-

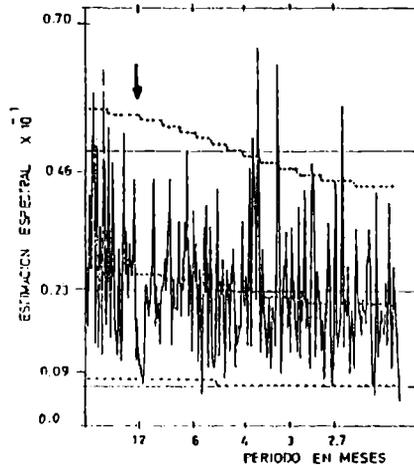


Figura 3: Estimación espectral de los deciles de precipitación mensual de Buenos Aires (lags máximo=416).

-*-*-*-* espectro Markoviano
 ----- espectro aleatorio.-

Tabla III

Frecuencias absolutas y relativas de ocurrencia de los años de precipitación filtrada según la clasificación resultante de considerar los dos primeros órdenes de la armónica de mayor varianza explicada.

Grupo*	Filtros Frecuencias		Filtros Frecuencias	
	Absolutas	Relativas	Absolutas	Relativas
1-2	11	8.3	9	8.3
1-3	4	3	3	2.8
1-4	6	4.5	5	4.6
1-5	7	5.3	7	6.4
1-6	3	2.3	5	4.6
2-1	5	3.8	5	4.6
2-3	7	5.3	6	5.5
2-4	3	2.3	4	3.7
2-5	7	5.3	7	6.4
2-6	2	1.5	1	0.9
3-1	7	5.3	5	4.6
3-2	5	3.8	2	1.8
3-4	2	1.5	7	6.4
3-5	4	3	2	1.8
3-6	-	-	2	1.8
4-1	6	4.5	4	3.7
4-2	7	5.3	5	4.6
4-3	8	6	5	4.6
4-5	6	4.5	4	3.7
4-6	1	0.7	1	0.9
5-1	4	3	3	2.8
5-2	5	3.8	8	7.3
5-3	6	4.5	4	3.7
5-4	5	3.8	1	0.9
5-6	4	3	2	1.8
6-1	3	2.3	1	0.9
6-2	3	2.3	1	0.9
6-4	2	1.5	-	-

*según orden armónico

Tabla IV

Frecuencias absolutas de ocurrencia de años con precipitación anual extrema en las series filtradas según el grupo dado por los dos primeros órdenes de la armónica de mayor varianza explicada.

Grupos*	Frecuencias Absolutas Filtro 1		Filtro 2	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
1-2	3	2	2	3
1-3	-	2	1	-
1-4	2	4	3	1
1-5	-	1	-	-
1-6	2	-	2	-
2-1	1	2	1	1
2-3	2	1	2	-
2-4	-	3	1	2
2-5	-	2	1	2
2-6	1	-	-	-
3-1	1	2	1	2
3-2	1	1	1	1
3-4	-	-	1	1
3-5	1	2	1	-
3-6	-	-	-	-
4-1	1	2	2	2
4-2	2	-	-	-
4-3	1	3	-	2
4-5	2	-	2	1
4-6	-	-	-	-
5-1	1	-	1	-
5-2	2	-	3	1
5-3	1	1	-	1
5-4	2	1	-	-
5-6	1	-	1	-
6-1	-	2	-	-
6-2	-	1	-	-
6-4	-	2	-	-

* según orden armónica.