

# LA PREDICCIÓN ESTADÍSTICA DE LA LLUVIA ESTACIONAL COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

---

*Marcela H. González<sup>1</sup>, Eugenia M. Garbarini<sup>1</sup>, Diana Domínguez<sup>2</sup>,  
María L. Cariaga<sup>2</sup> y Ezequiel Marcuzzi<sup>3</sup>*

## RESUMEN

En el marco de la importancia que tiene la precipitación en las distintas actividades humanas y sabiendo que aquella ha sufrido cambios relevantes en los últimos 50 años, en este trabajo se propone mostrar que el conocimiento de los forzantes climáticos que influyen la precipitación estacional puede utilizarse para la generación de modelos estadísticos que permitan predecir la lluvia con antelación y que se utilicen para mejorar la eficiencia de las actividades socioeconómicas.

## LAS TENDENCIAS OBSERVADAS DE PRECIPITACIÓN

El cambio climático en la Argentina se manifiesta en distintas variables meteorológicas. Probablemente, una de las más importantes –por su incidencia en las actividades humanas– sea la precipitación. Utilizando 67 estaciones correspondientes a la red de medición del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1961-2012, Argentina se subdividió en varias regiones homogéneas. En cada una de ellas se evaluó el cambio ocurrido en los totales

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. CONICET - Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.

2. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires, Argentina.

3. Secretaria de Ambiente, Servicio Nacional de Manejo del Fuego. Buenos Aires, Argentina.

de precipitación anual y estacional. En la Figura 1, se puede observar que, en el norte argentino, Córdoba y San Luis, el litoral, el norte patagónico y La Pampa, Buenos Aires y Misiones, la tendencia de precipitación anual es positiva. La región del Comahue y la del sur patagónico son las únicas que presentan una tendencia negativa en su régimen de precipitación anual (González *et al.*, 2016).

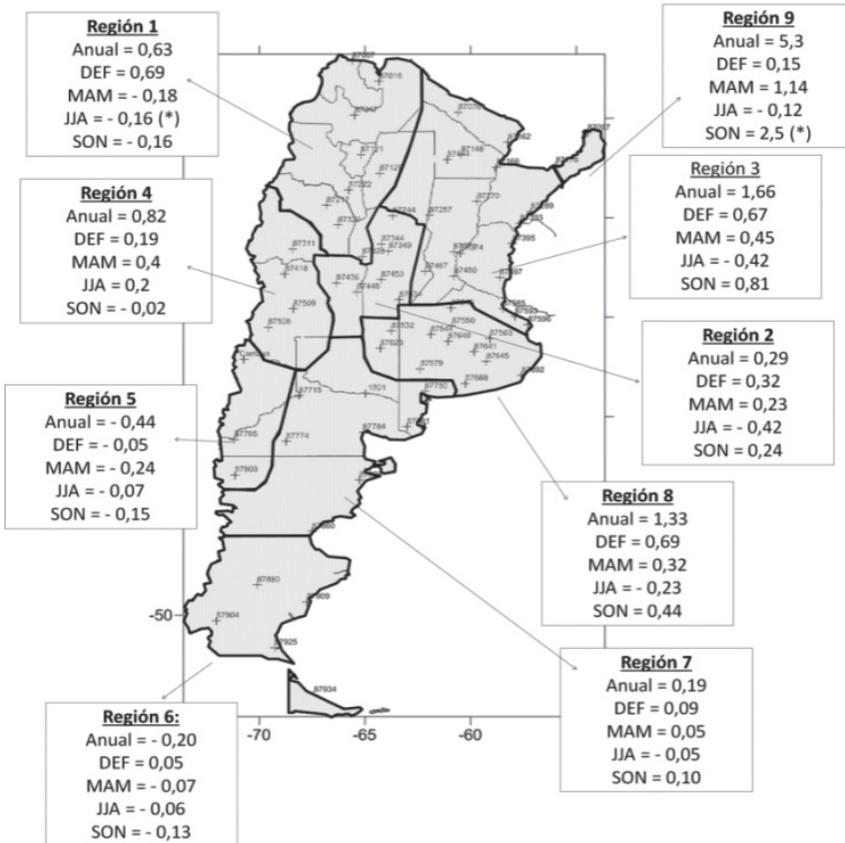


Figura 1. Tendencias observadas de precipitación anual y estacional en el periodo 1961-2012 para distintas regiones argentinas. El sombreado verde (marrón) corresponde a un crecimiento (decrecimiento) en la precipitación anual acumulada en DEF (diciembre-enero-febrero), MAM (marzo-abril-mayo), JJA (junio-julio-agosto) y SON (setiembre-octubre-noviembre). Se indica el número de estación en cada punto. Fuente: González *et al.* (2016).

## LOS PRONÓSTICOS ESTACIONALES UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS

En un país donde los cambios en la precipitación son tan relevantes y sabiendo que los resultados de la Tercera Comunicación Nacional de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS) muestra proyecciones a futuro en las que se profundizan las tendencias observadas en el pasado, resulta indispensable poder programar las actividades económicas de forma eficiente. En dicha comunicación se muestra que, en general, los cambios proyectados para la precipitación media anual serían inferiores al 10% en todo el país. Los mayores cambios proyectados son un descenso moderado en el oeste y sobre la cordillera en la Patagonia norte y central y en Mendoza, y un aumento en el centro y el este del país.

Los pronósticos estacionales de precipitación y otras variables relacionadas permiten planificar las actividades con el objetivo de minimizar los impactos negativos de estos cambios, por un lado, y de sacar el mayor provecho de los positivos, por otro. Es cierto que existen muchos centros mundiales que proveen pronósticos (dinámicos y estadísticos) de distintas variables en todo el mundo. Sin embargo, la eficiencia que muestran es limitada, y cuando se trata de pronosticar la lluvia acumulada en un trimestre con antelación, resulta muy importante estudiar los forzantes climáticos regionalmente y utilizarlos en modelos estadísticos especialmente diseñados para cada región y para cada variable a pronosticar. Un forzante climático es una anomalía de alguna variable que actúa como disparador de otras anomalías climáticas. En general, se conoce que un forzante como el ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) influencia la lluvia; sin embargo, existen otros que deben ser tenidos en cuenta a la hora de efectuar un pronóstico eficiente, sobre todo en años en que la señal del ENOS es débil o nula.

En el caso de la región del Comahue, la mayor cantidad de precipitación se produce en invierno. Estas lluvias aportan sustancialmente a los caudales de los ríos Neuquén y Limay, que son utilizados principalmente para dos actividades: la generación de energía hidroeléctrica –utilizando las represas presentes en ambos ríos– y el suministro de riego para el valle del río Negro, donde la precipitación es escasa y se cultivan frutales de calidad (Romero y González 2016). En este marco, se han realizado modelos de pronóstico de la precipitación acumulada en el trimestre invernal, para las cuencas de ambos ríos, que pueden ser evaluados al principio del trimestre. A modo de ejemplo, se muestra el resultado de varios modelos de pronóstico estadístico diseñados para pronosticar el Índice de Precipitación Estandarizada en la cuenca del río Neuquén (Figura 2) esperada para la temporada desde mayo

hasta septiembre. Este índice detecta la situación de gravedad de las sequías (índice negativo) o de los excesos (índice positivo). Los modelos utilizan como predictores las condiciones previas que se observan en la atmósfera y el mar y que son los forzantes climáticos observados como, por ejemplo, la situación del ENOS, las temperaturas del océano Atlántico y Pacífico en las costas de la Argentina, y los centros de altas y bajas presiones (González y Dominguez, 2012; González 2015). La Tabla 1 muestra la probabilidad de detección de los diferentes modelos en el caso de excesos (SPI positivos) y sequías (SPI negativos) y para producir falsas alarmas.

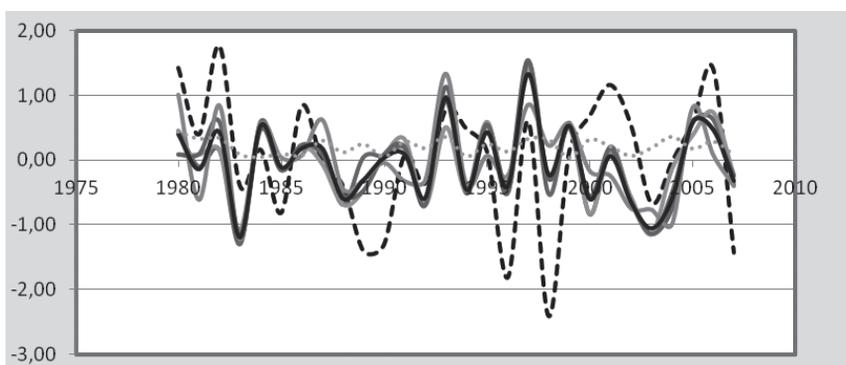


Figura 2. Índice de precipitación estandarizado, pronosticado con varios modelos estadísticos para la cuenca del Neuquén. La línea negra representa el ensamble de todos los pronósticos; y la punteada, el valor observado. Fuente: González (2015).

| Probabilidad de detección (POD) | SPI<0 | SPI>0 | Relación de falsa alarma (FAR) | SPI<0 | SPI>0 |
|---------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| set1                            | 0,79  | 0,93  | set1                           | 0,08  | 0,19  |
| set2                            | 0,6   | 0,77  | set2                           | 0,25  | 0,38  |
| set3                            | 0,69  | 0,8   | set3                           | 0,25  | 0,25  |
| set4                            | 0,77  | 0,87  | set4                           | 0,17  | 0,19  |
| ensamble                        | 0,71  | 0,86  | ensamble                       | 0,17  | 0,25  |

Tabla 1. Medidas de la eficiencia de los modelos para detectar años con excesos o sequías en la cuenca del río Neuquén para distintos conjuntos (sets) de predictores.

Fuente: González (2015).

Esta región, en verano, y sobre todo cuando existen condiciones de sequías tiene la problemática adicional de los incendios forestales. Utilizando un índice de incendio (FWI) que actualmente monitorea el Servicio Nacional de Manejo del Fuego de la Secretaría de Ambiente de la Nación, se ha desarrollado un modelo estadístico que, con base en condiciones que se observan en el mar y en la atmósfera, predice a principios de noviembre la posibilidad de riesgo de incendios para la temporada venidera en la localidad de Bariloche (Marcuzzi, 2014). Los resultados de la verificación del modelo pueden observarse en la Figura 3, donde se graficaron las series de FWI medio observado y estimado por el modelo estadístico generado.

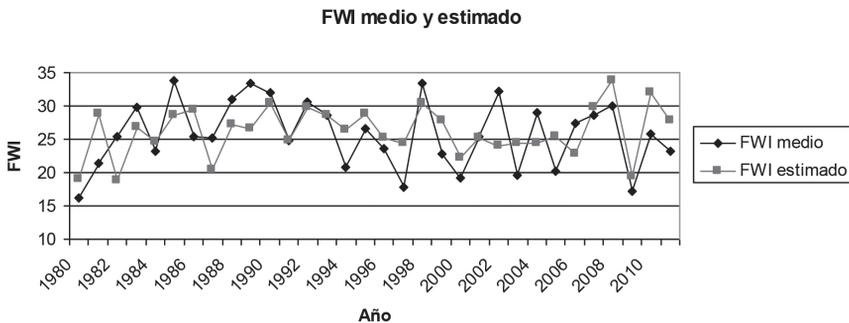


Figura 3. Índice de incendio observado y pronosticado por el modelo estadístico para Bariloche. Fuente: Marcuzzi (2014).

También la actividad agrícola y ganadera está altamente influenciada por la variabilidad de la precipitación. Grandes planicies en la Argentina subtropical están afectadas por inundaciones que producen pérdidas económicas y humanas. En toda esta región, las precipitaciones predominan en verano. En ese marco, se han desarrollado modelos de predicción de la lluvia estival en la zona central de la Argentina, donde se ha detectado que la predictibilidad disminuye hacia el oeste (Domínguez y González, 2013, 2015) y en la zona de Buenos Aires y alrededores (González y Cariaga, 2009; Cariaga y González, 2010). Estos modelos utilizan las condiciones previas de la atmósfera y de la temperatura del mar como posibles indicadores de la precipitación futura. Con ellos se definen predictores que se utilizan para generar una regresión lineal múltiple. La Figura 4 muestra los valores de eficiencia H, POD y FAR para los casos de precipitación sobrenormal (mayor al segundo tercil) y subnormal (menor al primer tercil) cuando se utilizan los modelos estadísticos desarrollados en cada área de prueba. El primer tercil representa el valor que deja por debajo de él los valores más bajos. Claramente puede

observarse que la eficiencia varía para las distintas áreas. Seguramente, estos valores pueden mejorarse no solo encontrando más y mejores predictores, sino utilizando técnicas de generación de modelos, como podrían ser las no lineales, entre otras.

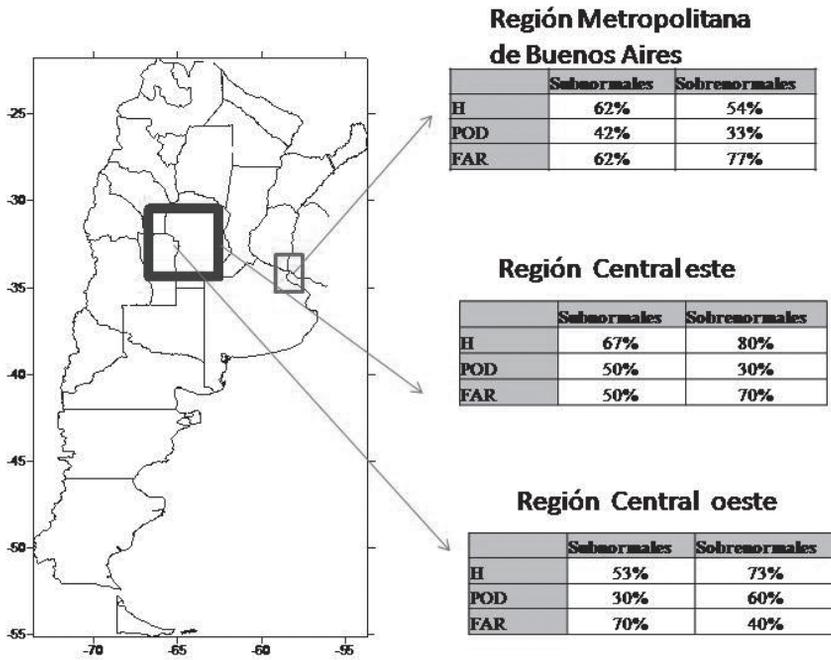


Figura 4. Eficiencia (H), probabilidad de detección (POD) y relación de falsa alarma (FAR) para los casos de lluvia sobrenormal y subnormal utilizando los modelos estadísticos de pronóstico de lluvia estacional.

En la cuenca del río Bermejo se ha estudiado la influencia de los cambios en la precipitación a largo plazo en la utilización del suelo. En particular, la problemática social asociada a los cambios en las actividades humanas, en las posibilidades de trabajo y en la dinámica de la ubicación de las poblaciones (Murgida *et al.*, 2014).

## CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se han mostrado algunas de las posibles utilidades de los pronósticos estadísticos de precipitación y de otros índices (como el de

incendios, sequías e inundación) para una mayor eficiencia en la toma de decisiones. Esta mejora impacta positivamente en el rendimiento de actividades humanas tan importantes como la agricultura, la producción de energía eléctrica, el turismo y la prevención de desastres, entre muchas otras. Seguramente, contar con dichos pronósticos con cierta antelación llevará a tomar decisiones más acertadas en cuanto a la apertura de compuertas en las presas, el riego artificial o las alertas de evacuación frente a fenómenos severos.

## REFERENCIAS

- Cariaga, M. L., M. H. González (2010): "Un esquema de estimación de la precipitación estival en la ciudad de Buenos Aires", *Meteorológica*, 35 (1), 5.
- Domínguez, D. y M. H. González (2013): "Variabilidad de la precipitación en el centro oeste de Argentina y un modelo de predicción estadística", *Meteorológica*, 38 (2), 105-120.
- Domínguez, D., M. H. González (2015): "Previsão estatística da precipitação de verão no centro-oeste da Argentina", *Revista Ciencia e Natura*, 37, 75-82.
- González, M. H. (2015): "Statistical seasonal rainfall forecast in Neuquén river basin (Comahue Region, Argentina)". *Climate* 3, 349-364.
- González M. H., E. M. Garbarini, A. L. Rolla, S. Eslamian (2016): "Meteorological Drought Indices: Rainfall Prediction in Argentina". En S. Eslamian (ed.), *Handbook of Drought and Water Scarcity: Vol. 1, Principle of Drought and Water Scarcity, Chapter 29*, Taylor & Francis, Reino Unido, Abingdon. 540-567
- Marcuzzi, E. (2014). "Análisis de los patrones atmosféricos de circulación regional críticos para la ocurrencia de incendios forestales en la zona cordillerana de la Patagonia Argentina". Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera. Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Murgida, A. M., M. H. González y H. Tiessen (2014): "Rainfall trends, land use and adaptation in the Chaco Salteño region of Argentina". *Regional Environmental Change*, 14, Issue 4 (2014), 1387-1394.
- Romero, P. y M. H. González (2016): "Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte". *Revista ASAGAI (Asociación Argentina de Geología aplicada a la Ingeniería)*, Buenos Aires, Argentina, 36, 7-14

## GLOSARIO

Forzante climático: es una anomalía que se produce en una variable atmosférica u oceánica y que puede ser indicativa de las anomalías de precipitación que se producen posteriormente.

Índice de precipitación estandarizado: es un índice calculado con base en la precipitación acumulada en un período de tiempo determinado. Los valores de IPE entre -0,5 y 0,5 indican una situación hídrica normal; los menores a -0,5, una situación seca; y los mayores a 0,5, una situación húmeda.