

PREDICCIÓN ESTADÍSTICA DE CANTIDAD DE DÍAS CON TEMPERATURA MEDIA DIARIA MENOR A 10 GRADOS EN MAR DEL PLATA

Diana Analía Domínguez^{1,2}, María de los Milagros Skansi¹, Marcela Hebe González^{2,3}

ddominguez@smn.gov.ar

¹Servicio Meteorológico Nacional

²Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA

³Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera - CONICET/UBA-UMI-IFAECI/CNRS

RESUMEN

Uno de los indicadores asociados a la demanda energética en el período invernal es la *cantidad de días con temperatura media diaria menor o igual a 10°C* (ndT10). Este parámetro es monitoreado operativamente en algunas de las ciudades argentinas más densamente pobladas sin embargo no existe aún un modelo que permita hacer una proyección trimestral de este parámetro. En este análisis se intenta llegar a modelo de predicción para la variable ndT10 de los meses de junio-julio-Agosto (JJA) en la ciudad de Mar del Plata (MDP). Se analiza MDP por ser la ciudad que presenta Mayor cantidad ndT10 de entre otras ciudades densamente pobladas de la República Argentina (Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Mendoza, Resistencia, Santa Fe y Salta) del periodo de registro 1961-2012. Además está altamente correlacionada con localidades como Buenos Aires , Rosario, Santa Fe y Córdoba.

Se realizó el análisis de las tendencias lineales de las series ndT10 el período 1961-2012. El ajuste lineal de la tendencia mostró una recta sin pendiente significativa estadísticamente, lo cual dà indicio de no haber un aumento significativo de ndT10 del trimestre en el periodo analizado. Del trimestre JJA, Agosto es el mes con Mayor ndT10 en dicho período.

Con el fin de generar un pronóstico de ndT10 de JJA se investigó la existencia de predictores en el mes de Mayo, previo a la ocurrencia del período frío. Para ello se analizó la existencia de patrones de circulación asociados a la variabilidad interanual, tanto en simultáneo como en el mes previo. Se calcularon correlaciones de variables de gran escala y temperatura de superficie del mar, así como también, los campos compuestos de los años considerados como subnormales y sobre normales. Este análisis permitió definir varios predictores y con ellos se generó un modelo de regresión lineal múltiple que explicó el 23 % de la varianza de ndT10 de JJA. El esquema fue validado aplicando el método de crosvalidación.

ABSTRACT

One of the indicators associated with energy demand in winter is the number of days with less than or equal to 10 ° C (ndT10) average daily temperature. This parameter is monitored operatively in some of the most densely populated cities in Argentina but there is still no model to make a projection of this parameter. This analysis attempt to reach to a prediction model for the variable ndT10de the June-July-August (JJA) in the city of Mar del Plata (MDP). MDP is analyzed as the city that has most ndT10 from other cities densely populated of Argentina (Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Mendoza, Resistencia, Santa Fe and Salta) in the 1961-2012 period. It is also highly correlated with cities as Buenos Aires, Rosario, Santa Fe and Córdoba.

Analysis of ndT10 linear trends in 1961-2012 was performed and showed a straight flat statistically significant which gives evidence of having no significant increase ndT10 in the period analyzed. August is the month with most ndT10 in that JJA period.

In order to generate a forecast of JJA ndT10, the existence of predictors in May prior to the occurrence of cold period was investigated. For this purpose the existence of circulation patterns associated with interannual variability both simultaneously as in the previous month was analyzed. Correlations of variables of large scale and sea surface temperature were calculated, as well as the compounds fields of the years considered below normal and above normal. This analysis allowed defining several predictors and the generated multiple linear regression model explained 23% of variance ndT10 of JJA. The scheme was validated using the method of crosvalidación.

Palabras clave: *días con temperatura media menor o igual a 10°C, temperatura de la superficie del mar, predicción estadística.*

1) INTRODUCCIÓN

Cuando la temperatura media diaria desciende por debajo de los 10°C, durante el periodo invernal, se produce una importante demanda de energía utilizada para el acondicionamiento térmico domiciliario en los grandes centros urbanos. Este estudio surge de la necesidad de prever el consumo tanto de energía eléctrica como de gas natural utilizados para calefaccionar.

Actualmente el parámetro cantidad de días con temperatura media menor o igual a 10°C es monitoreado operativamente en algunas de las ciudades argentinas más densamente pobladas en el período que abarca de Mayo a Septiembre (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=energia&id=2>). Sin embargo no existe aún un modelo que permita hacer una proyección trimestral de este parámetro.

Particularmente en este estudio se analiza la variabilidad de la variable cantidad de días con temperatura media diaria menor o igual a 10 grados (ndT10) en la ciudad de Mar del Plata en el trimestre que va de junio a Agosto.

En nuestro país es variada la cantidad de estudios previos en relación a la predicción estacional, en su mayoría relacionados a la lluvia (Cariaga y González, 2010; González y otros, 2010; González y Flores, 2010; Dominguez y González, 2013). Varios de estos llegan a esquemas que explican buena parte de la variabilidad de la serie a pronosticar.

En este trabajo se estudian los posibles forzantes, tanto de gran escala como regionales, que favorecen los días fríos. Finalmente se propone un esquema de predicción.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos de temperatura media diaria del Servicio Meteorológico Nacional de las estaciones meteorológicas de Mar del Plata Aero, Buenos Aires Obs, Rosario, Córdoba Aero, Mendoza Aero, Sauce Viejo (Santa Fe), Resistencia Aero y Salta del trimestre junio-junio-Agosto del período 1961-2012.

Se estudiaron los forzantes de la variabilidad interanual ndT10 de junio a Agosto en Mar del Plata mediante el cálculo de las correlaciones entre las anomalías de ndT10 y las anomalías temporales de las siguientes variables: altura geopotencial en 1000 (G1000), 500 (G500) y 200 Hpa (G200), viento zonal (U) y meridional (V) en 850 Hpa, temperatura a 2 metros (T) y TSM obtenidas del reanálisis NCEP/NCAR (Kalnay y otros, 1996). Las correlaciones fueron calculadas tanto en forma simultánea como desfasada en 1 mes para detectar aquellas variables que pueden colaborar con la predictibilidad de ndT10. Las correlaciones desfasadas se calcularon entre las anomalías de ndT10 con las variables

de gran escala durante el mes anterior al trimestre de invierno (Mayo). Las correlaciones Mayores a 0,28 fueron estadísticamente significativas con el 95% de confianza.

Para generar el modelo de predicción de la serie ndT10 del trimestre junio-julio-Agosto se definieron posibles predictores que se seleccionaron en base al estudio de correlaciones tomando el promedio de la variable en el área de correlación significativa. Además se consideraron predictores independientes entre sí para evitar la multicorrelación. Se analizaron las correlaciones para generar el modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados se validaron con la metodología de cros-validación (Wilks, 1995) donde se utilizaron todos los años menos uno para la construcción del modelo y el año restante para el cálculo. El proceso fue repetido tantas veces como años se quisieron predecir, 52 en este caso. Este proceso permite al mismo tiempo validar el pronóstico y verificar la estabilidad del modelo.

Para probar la eficiencia del modelo, se realizó una tabla de contingencia entre la precipitación observada y la pronosticada, donde se separaron los casos equiprobables llamados, subnormales, normales y sobrenormales, refiriéndose cada uno al espectro completo de casos posibles desde los años con pocos días a muchos días fríos, respectivamente. Además se calcularon los siguientes índices: probabilidad de detección (POD), relación de falsa alarma (FAR) y porcentaje de aciertos (HIT) (Wilks, 1995).

3) RESULTADOS

Se estudió el comportamiento de la variable ndT10 de todas las localidades, concluyendo que Mar del Plata es la que Mayor cantidad de días fríos registró en el período (Figura 1). En segundo lugar se encuentra la ciudad de Mendoza, la cual superó los ndT10 de Mar del Plata en algunos años en particular (Figura 2).

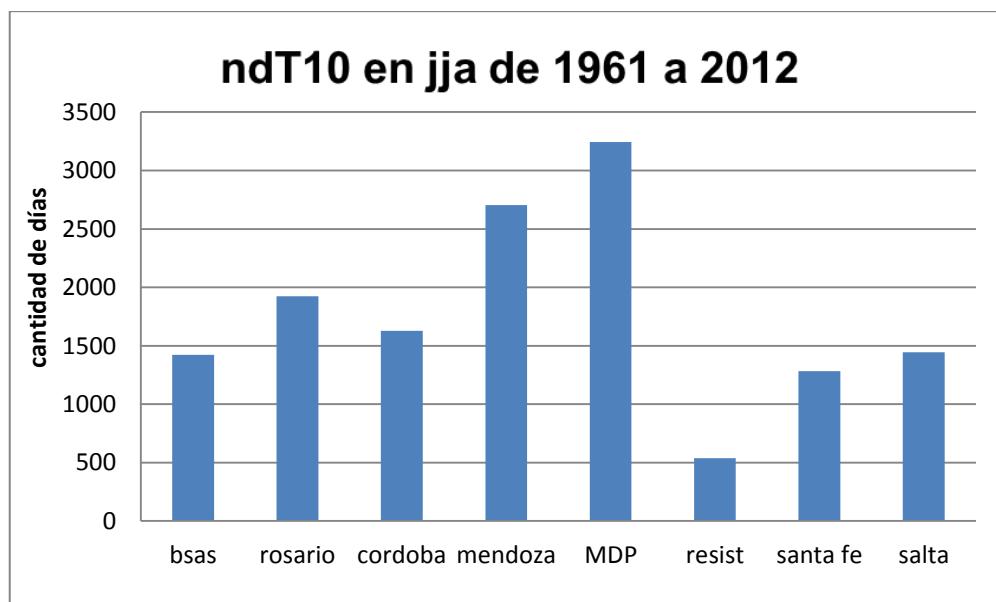


Figura 1: Cantidad de días con temperatura media menor o igual a 10 grados en el trimestre JJA de 1961 a 2012

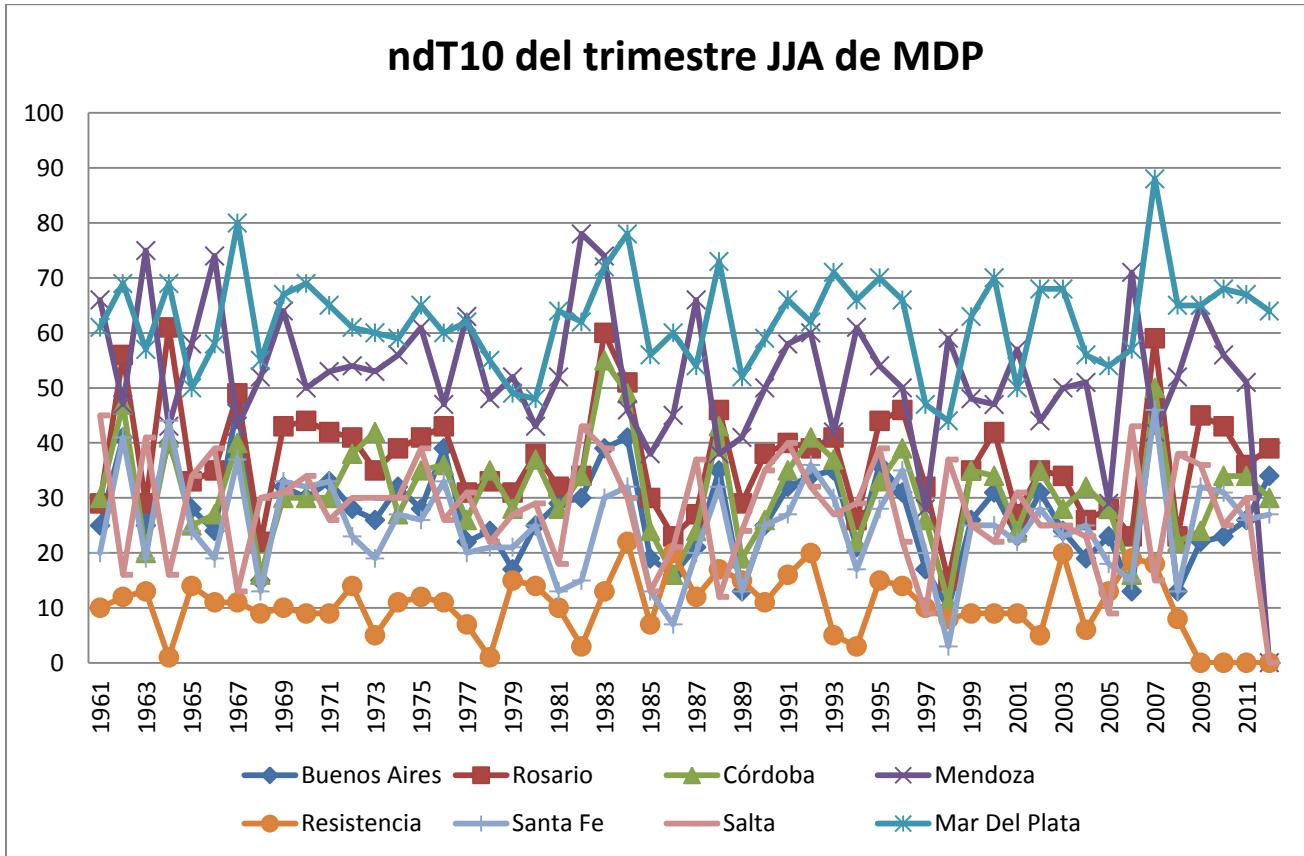


Figura 2: Distribución de Cantidad de días con temperatura media diaria menor a 10 grados del trimestre JJA a lo largo de los años

En cuanto a la variabilidad de ndT10 del trimestre a lo largo de los años, se observó que hay alta correlación con localidades del área pampeana como Buenos Aires, Rosario, Santa Fe y Córdoba. No hay relación con las ciudades de Resistencia, Salta y Mendoza, incluso para las dos últimas la correlación es negativa (Tabla I). En cuanto a la distribución mensual, la Mayor cantidad de ndT10 de Mar del Plata se registró en el mes de Agosto (Figura 3).

Tabla I

Buenos Aires	0.75
Rosario	0.72
Córdoba	0.65
Mendoza	-0.07
Resistencia	0.06
Santa Fe	0.66
Salta	-0.15
Buenos Aires	0.75
Rosario	0.72

Tabla I: Correlación entre la serie ndT10 de Mar del Plata y demás localidades

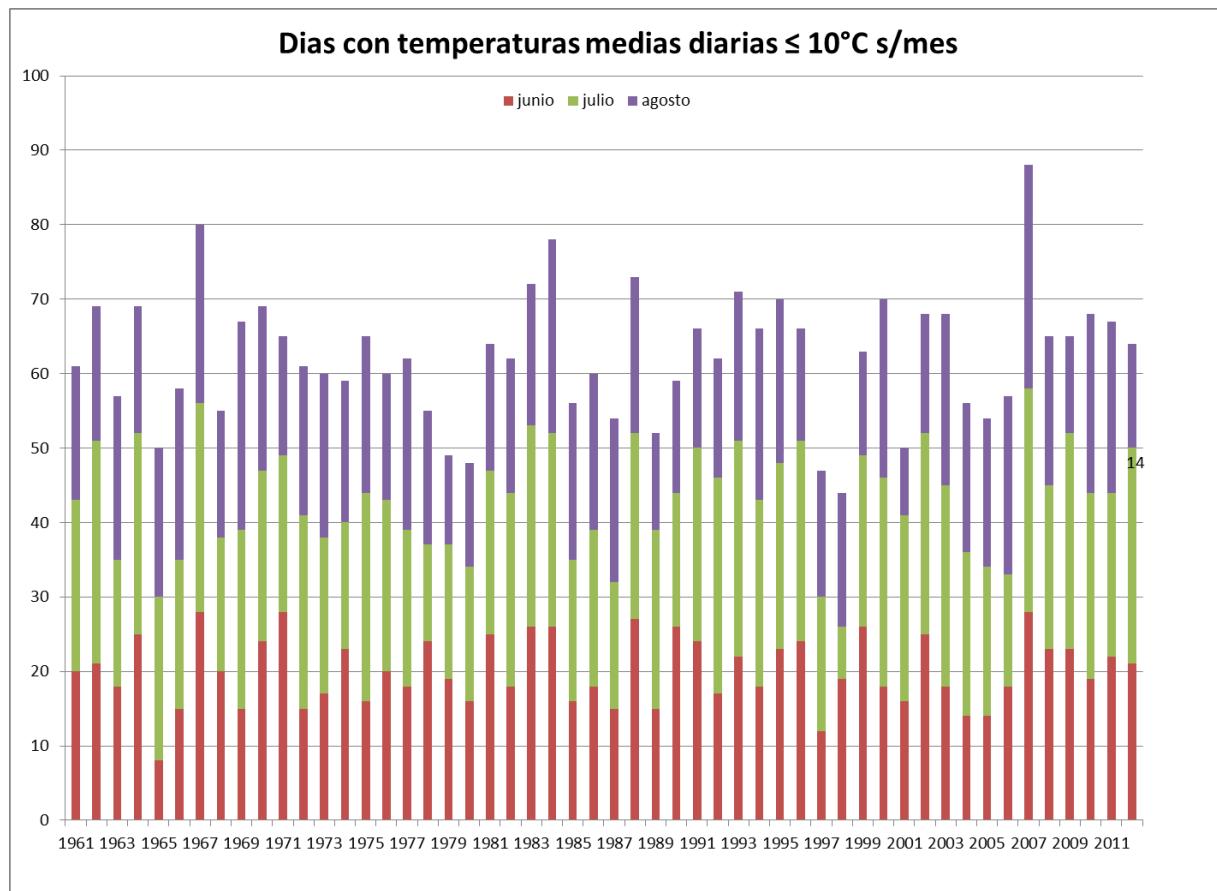


Figura 3: Distribución de la cantidad de días con temperatura media menor o igual a 10 grados del trimestre JJA de la ciudad de Mar del Plata.

La pendiente de la recta que ajusta la serie ndT10 de Mar del Plata no tiene pendiente significativa estadísticamente. Lo cual da indicio de no haber un aumento significativo de los días con temperaturas menores a 10°C en el periodo analizado

El modelo de predicción estadístico

Con el fin de generar un modelo de predicción, utilizando las variables observadas en el mes de Mayo, se definieron los predictores. Para su definición se utilizaron los campos de correlación desfasados en un mes y los campos diferencia entre situaciones de muchos días y pocos días fríos, también en Mayo. Se definieron los posibles predictores del modelo como el promedio areal de las variables en las zonas donde la correlación (superior a 0.28) o la diferencia entre casos de muchos y pocos días fríos. Los mismos se detallan en la Tabla II y son G1, G5, G1com, G5com, U, V, Ucom, Ucom2, T y SST1. Posteriormente se seleccionó sólo un grupo de predictores que no estuvieran correlacionados entre sí para evitar el problema de multicorrelación y analizando cuáles explicaban más varianza fueron la entrada al modelo de regresión.

Los predictores seleccionados para la regresión fueron T y SST1 (Figura 4) resultando la ecuación 1 como modelo de predicción.

$$\text{ndT10(JJA_MDP)} = 372.9 - 5.71 * \text{SST1} - 8.43 * \text{T} \quad (1)$$

Los campos asociados a muchos/pocos ndT10 indican que la TSM en el Pacífico es uno de los factores asociados a las temperaturas en esta zona, tal como fue marcado por otros estudios (Müller 2005) utilizando como variable de análisis la frecuencia de heladas. Por su parte la temperatura del aire sobre el Pacífico en latitudes medias es otro factor que influye en el mes previo a los meses frios.

Predictor	Variable	Área	R
G1	G 1000	30° S - 45° S ; 100° O - 150° O	0.47
G5	G 500	30° S - 45° S ; 100° O - 150° O	0.37
G1com	G 1000	30° S - 40° S ; 90° O - 110° O	0.40
G5com	G 500	30° S - 45° S ; 100° O - 120° O	0.35
T	T	20°S - 40°S ; 90°O - 110°O	-0.37
U	U 850	20°S - 40°S ; 100°O - 150°O	-0.41
Ucom	U 850	25°S - 35°S ; 100°O - 120°O	-0.45
Ucom2	U 850	50°S - 60°S ; 100°O - 120°O	0.32
V	V 850	45° S- 50° S ; 70° O - 80° O	0.32
SST1	TSM	5° N - 5° S ; 100° O - 150° O	-0.26

Tabla II: Definición de los predictores para el mes de Mayo y su correlación con la serie de ndT10 junio a Agosto de Mar del Plata

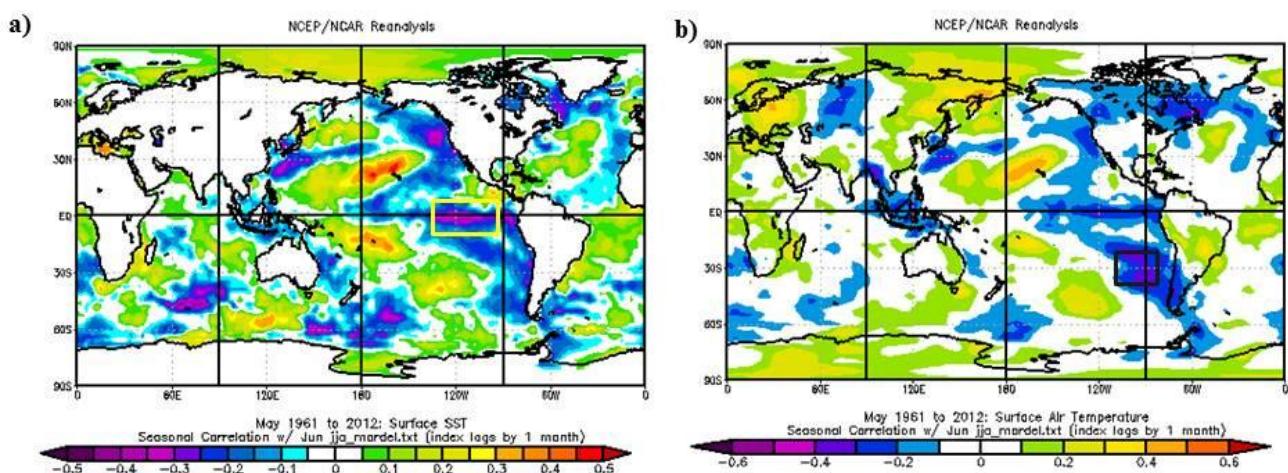


Figura 4: a) Correlación entre la serie ndT10 MDP en JJA y la TSM ($^{\circ}$ C) en Mayo. Valores Mayores a 0.28 son significativos al 95% de confianza. El recuadro muestra la región de alta correlación donde se ha desarrollado el predictor. b) ídem a, para Temperatura ($^{\circ}$ C).

El modelo construido con estos predictores explica el 23% de la variabilidad de los ndT10 de JJA (Figura 5). La correlación entre los valores observados y los pronosticados fue de 0.48. Se aplicó el método de crosvalidación para evaluar la eficiencia del modelo, lo cual requirió el cómputo del mismo 52 veces, obteniendo una serie de valores pronosticados (Figura 6).

Una medida para evaluar cuantitativamente el ajuste de la predicción a los valores observados es mediante una tabla de contingencia (Tabla III). En ella puede observarse que en el 41.6 % de los casos el modelo predijo la misma categoría que efectivamente se produjo, mientras que un 1.9% (3.8%) de valores pronosticados como sobrenormales (subnormales) fueron subnormales (sobrenormales). Para evaluar la precisión de las categorías pronosticadas se calcularon los índices de probabilidad de detección (POD), relación de falsa alarma (FAR) y la tasa de acierto (HIT). El índice POD cuenta la proporción de eventos de una clase que fueron pronosticadas como tal, por lo tanto los valores cercanos a 1 son los de mejor pronóstico. En cambio el índice FAR da la proporción de los pronósticos que fallaron en producirse, esperándose que un buen pronóstico de como resultado valore cercanos a 0. Por último la tasa de acierto (HIT) indica la proporción de casos clasificados correctamente. Los resultados se indican en la Tabla IV. La categoría subnormal obtuvo los Mayores valores de índice POD y HIT a su vez que los menores valores de FAR, resultando la categoría de casos soubnortiales la mejor representada por el modelo.

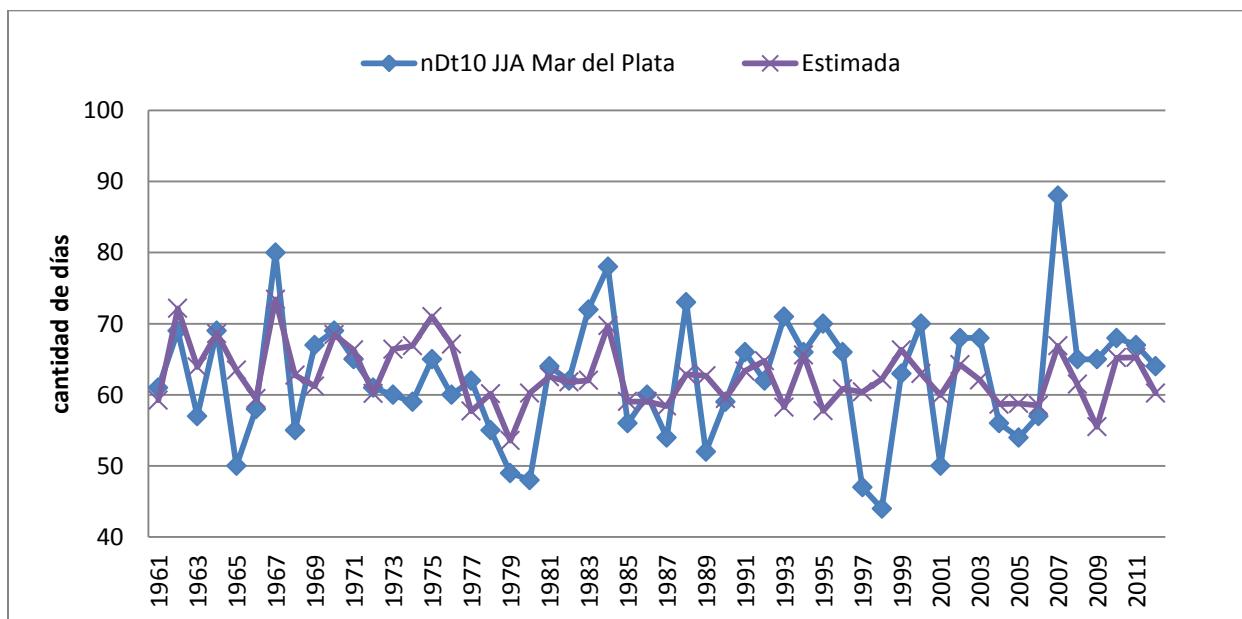


Figura 5: Series de ndT10 del JJA en Mar del Plata y estimada con método de regresión

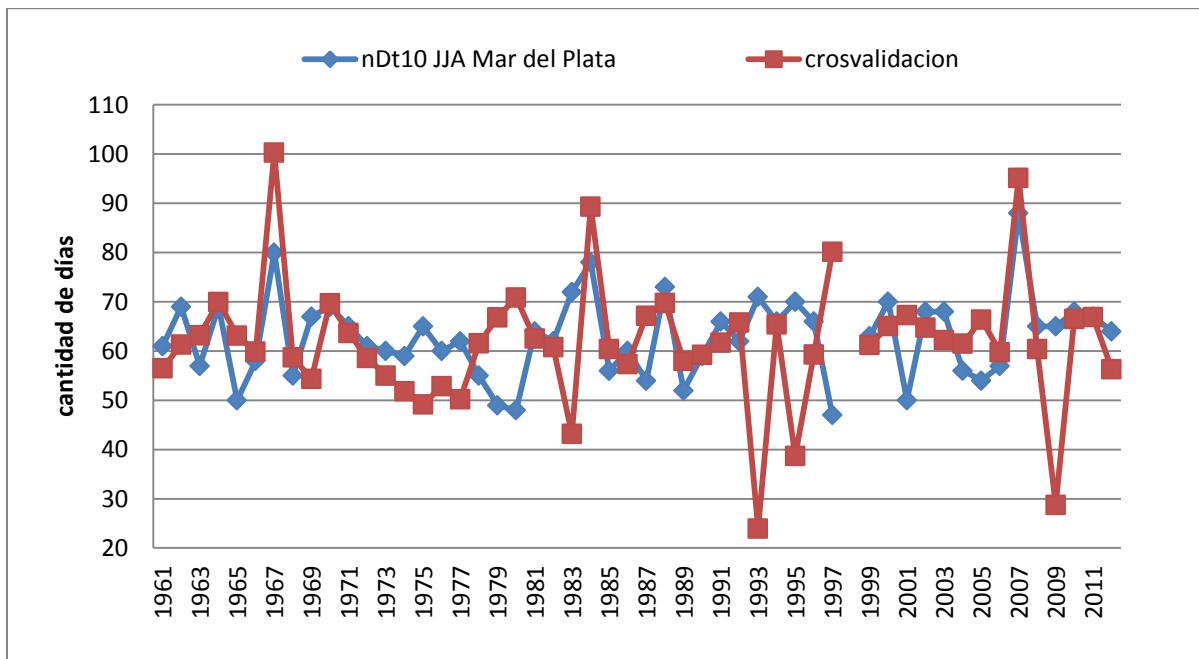


Figura 6: Series de ndT10 del JJA en Mar del Plata y estimada con método de Crosvalidación

		Categoría Pronosticada		
Categoría Observada		SubN	N	SobreN
	SubN	17.3	11.5	1.9
	N	11.5	11.5	15.4
	SobreN	3.8	9.6	17.3

Tabla III: Tabla de contingencia entre categorías observada y pronosticada (% total casos)

	HIT	POD	FAR
subnormal	0.71	0.53	0.44
normal	0.52	0.35	0.7
sobrenormal	0.69	0.5	0.44

Tabla IV: Medidas de eficiencia para los eventos subnormales, normales y sobrenormales.

POD: probabilidad de detección; FAR: relación de falsa alarma; HIT: tasa de acierto

4) CONCLUSIONES

En cuanto a la variabilidad de ndT10 en MDP durante JJA se observó que presenta alta correlación con otras localidades del área pampeana como Buenos Aires , Rosario, Santa Fe y Córdoba. En tanto no

hay relación con las ciudades de Resistencia, Salta y Mendoza. MDP es el lugar con Mayor frecuencia de ndT10 y no muestra tendencia a lo largo del período analizado.

Se analizó la existencia de patrones de circulación asociados a la variabilidad interanual de ndT10 en MDP. Las correlaciones con las variables de gran escala y temperatura de superficie del mar, como así también los campos compuestos de los años considerados con muchos o pocos días fríos permitieron identificar varios predictores. El modelo final se asoció a la TSM en la zona ecuatorial y a la temperatura del aire sobre el Pacífico en latitudes medias.

El modelo de regresión lineal múltiple con dichos predictores explicó el 23 % de la varianza de ndT10 de JJA. La correlación entre los valores observados y los pronosticados fue de 0.48. El modelo en el 41.6 % de los casos predijo la misma categoría que efectivamente se produjo y en las categorías extremas se encontró que pronóstica mejor la categoría subnormal.

Si bien el modelo explica una baja porción de la varianza de ndT10 este es un primer abordaje a la formulación del modelo de predicción. En próximos estudios será necesaria la exploración de nuevos predictores, así como también el estudio de predictibilidad de temperaturas a escala estacional, ya que no existen referencias en la región acerca de este punto.

AGRADECIMIENTOS: Las imágenes de las figuras de correlaciones fueron provistas por NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado desde su página web: <http://www.esrl.noaa.gov/psd>

REFERENCIAS

Cariaga, M.L. y González M.H., 2010. Un esquema de estimación de la precipitación estival en la ciudad de Buenos Aires, Meteorológica, 35, 1, 5-16. ISSN:0325-187X

Dominguez, D. y González, M. H, 2013. Variabilidad de la precipitación en el centro oeste de argentina y un modelo de predicción estadística, Meteorologica, 38, nº2, 105-120. ISSN:0325-187X

González, Marcela H., Skansi M. M. y Losano, F., 2010. A statistical study of seasonal winter rainfall prediction in the Comahue region (Argentine), Atmósfera 23 (3) 277-294.

González, M. H y Flores, O. K., 2010. Análisis de la precipitación en la llanura chaqueña argentina y su relación con el comportamiento de la circulación atmosférica y las temperaturas de la superficie del mar, Meteorológica, 35, 2, 53-66, ISSN:0325-187X

Kalnay E, Kanamitsu, M. ,Kistler, R., Collins, W. , Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S.,White, G., Woollen, J., Zhu, I., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgings, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D.,1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40 years- project. Bull Amer Meteor Soc, 77, 437-471.

Müller, G. V. 2005. Variabilidad interanual en la frecuencia de ocurrencia de heladas en la Pampa húmeda y su relación con la circulación atmosférica asociada. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3813_Muller.pdf

Wilks, D. S. 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences (An introduction), International Geophysics Series, vol 59, Academic Press, 464pp, San Diego, California.