

## DOWNSCALING DE VARIABLES CLIMÁTICAS A PARTIR DEL REANÁLISIS NCEP/NCAR EN EL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

F. Ferrelli<sup>1,2</sup>, M. L. Bustos<sup>1,2</sup>, M. C. Piccolo<sup>1,2</sup>, M. A. Huamantínco Cisneros<sup>1,2</sup> y G. M. E. Perillo<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Sur.

<sup>2</sup> Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET).

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue proponer una manera sencilla de utilizar la información del Reanálisis (NCEP/NCAR) aplicando los métodos de downscaling para estimar la temperatura del aire, la humedad relativa y las precipitaciones en aquellas regiones con escasez de series observadas en superficie. El área de estudio correspondió al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se aplicaron técnicas estadísticas sobre la información de nueve estaciones meteorológicas y datos estimados con el Reanálisis. En períodos cortos (10 años), el mejor ajuste se presentó para la temperatura del aire, específicamente en otoño y primavera, mientras que la humedad relativa y la precipitación manifestaron algunas diferencias. Por otro lado, en períodos largos (30 años) los datos estimados fueron útiles para realizar un estudio climático ya que se presentó un buen ajuste entre los datos observados en superficie y los del Reanálisis.

**Palabras clave:** Downscaling; Reanálisis (NCEP/NCAR); series observadas en superficie; modelización estadística; sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

### DOWNSCALING OF CLIMATIC VARIABLES FROM REANALYSIS NCEP/NCAR IN THE SOUTHWEST OF BUENOS AIRES PROVINCE (ARGENTINA)

### ABSTRACT

The aim of this study is to propose an easy way to use the Reanalysis data, applying statistical downscaling, to estimate air temperature, relative humidity and precipitation in regions with a lack or shortage of meteorological data. The study region was the southwest of Buenos Aires province, Argentina. Statistical techniques were applied to *in situ* and Reanalysis (NCEP/NCAR) numerical model data. In short periods (10 years), the best fits were observed in the air temperature, especially in autumn and spring, while relative humidity and precipitation presented some differences. However, in long periods (30 years) the estimated data is useful for climatic studies due to its good fit between *in situ* and Reanalysis model data.

**Key Words:** Downscaling; Reanalysis (NCEP/NCAR); *In situ* data; statistical models; southwest of Buenos Aires province (Argentina).

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.

<sup>2</sup> Instituto Argentino de Oceanografía. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. E-mails: [fferrelli@criba.edu.ar](mailto:fferrelli@criba.edu.ar), [mlbustos@criba.edu.ar](mailto:mlbustos@criba.edu.ar), [mandreahc@criba.edu.ar](mailto:mandreahc@criba.edu.ar), [ofpiccol@criba.edu.ar](mailto:ofpiccol@criba.edu.ar)

<sup>3</sup> Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología. E mail: [gmeperillo@criba.edu.ar](mailto:gmeperillo@criba.edu.ar)

## 1. INTRODUCCIÓN

Para el conocimiento del clima regional es necesario tener estaciones meteorológicas relativamente cercanas que brinden series largas de datos meteorológicos durante un período mayor a 30 años (STRAHLER, & STRAHLER, 1989). En muchas ocasiones, la falta de este tipo de información en algunas regiones es un problema que afecta los estudios climáticos de diversos espacios. Por ello, se han realizado diversas investigaciones con el fin de obtener datos de largas series de tiempo a través de la validación de herramientas tales como imágenes satelitales, datos de aeronaves, modelos numéricos, etc. (KALNAY *et al.*, 1996; KLISTER *et al.*, 2001; HIJMAS *et al.*, 2005).

Un modelo numérico que permite obtener información de distintos parámetros meteorológicos es el Reanalysis (NCEP/NCAR) (de aquí en adelante reanálisis). Con él es posible describir las variaciones mensuales y estacionales (HURRELL y TRENBERTH, 1999; MESINGER *et al.*, 2006). Se han logrado validar datos climáticos en series de 40 y 50 años para todo el planeta (KALNAY *et al.*, 1996 y KLISTER *et al.*, 2001).

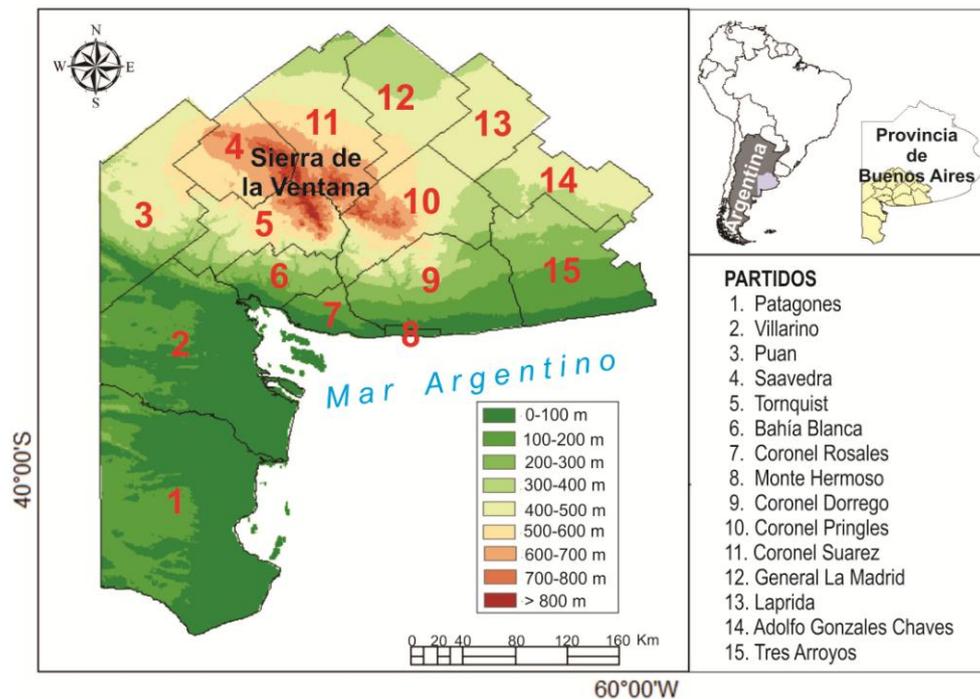
Al reducir el área de trabajo las validaciones de datos del reanálisis presentan algunas anomalías. ZHAO *et al.*, (2007) realizaron un estudio para corregir los efectos que la topografía tiene sobre los resultados del reanálisis. El estudio fue aplicado en China y obtuvieron parámetros de corrección que permitieron mejorar los datos obtenidos con el modelo numérico y aproximarlos a los registros observados en superficie. En zonas de América del Sur se han realizado comparaciones de datos del reanálisis con series observadas en superficie. Estos datos presentaron diferencias al realizar trabajos en menor escala especialmente en temperatura del aire y precipitaciones (SETH *et al.*, 2007).

En Argentina se han realizado estudios que vinculan los datos del reanálisis con la temperatura. Entre ellos puede mencionarse a RUSTICUCCI y KOUSKY (2002) quienes estudiaron la relación entre la temperatura calculada con el reanálisis y la obtenida mediante mediciones realizadas en superficie durante eventos extremos. Para ello, seleccionaron estaciones meteorológicas de Argentina correspondientes a áreas rurales. Los autores encontraron mayores relaciones en los eventos fríos que en los cálidos. Estos autores concluyeron que el reanálisis es útil para estimar parámetros meteorológicos en latitudes medias, pero no para estudiar amplitudes y frecuencia de eventos extremos en latitudes subtropicales o de relieve elevado.

A escala regional y local en Argentina no se han realizado investigaciones que integren datos de mediciones realizadas en superficie con los del reanálisis. Un área importante para el país por su producción agrícola-ganadera, su actividad turística y su vulnerabilidad ambiental (erosión de los suelos, sequías e inundaciones) y que no posee suficientes estaciones meteorológicas es el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Se han realizado estudios caracterizando el clima de esta región (CAPELLI Y CAMPO, 1994; CAMPO DE FERRERA *et al.*, 2004; DE RUYVER *et al.*, 2012) pero debido a la falta de estaciones meteorológicas que cubran todo el área ha sido difícil analizar la variabilidad climática. Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue realizar modelizaciones estadísticas a partir de métodos de downscaling para estimar con suficiente precisión la temperatura del aire, la humedad relativa y la precipitación ya que estos parámetros son importantes para identificar las variaciones climáticas de un espacio determinado.

El área de estudio tiene 15 partidos y está limitada al sudeste por el Océano Atlántico y al norte por las Sierras de la Ventana (Figura 1). El clima es templado con inviernos y veranos diferenciados. La amplitud térmica anual oscila entre 14 y 20 °C. La precipitación media es de 842 mm en el este y 380 mm al sudoeste (CAMPO DE FERRERA *et al.*, 2004). La región está bajo la influencia del Anticiclón del Atlántico Sur que genera vientos cálidos y fuertes desde el norte y noreste y la influencia del Pacífico facilita el ingreso de masas de aire frías desde el Polo Sur (CAPELLI DE STEFENS *et al.*, 2005).

FIGURA 1  
Localización del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

## 2. DATOS Y MÉTODOS

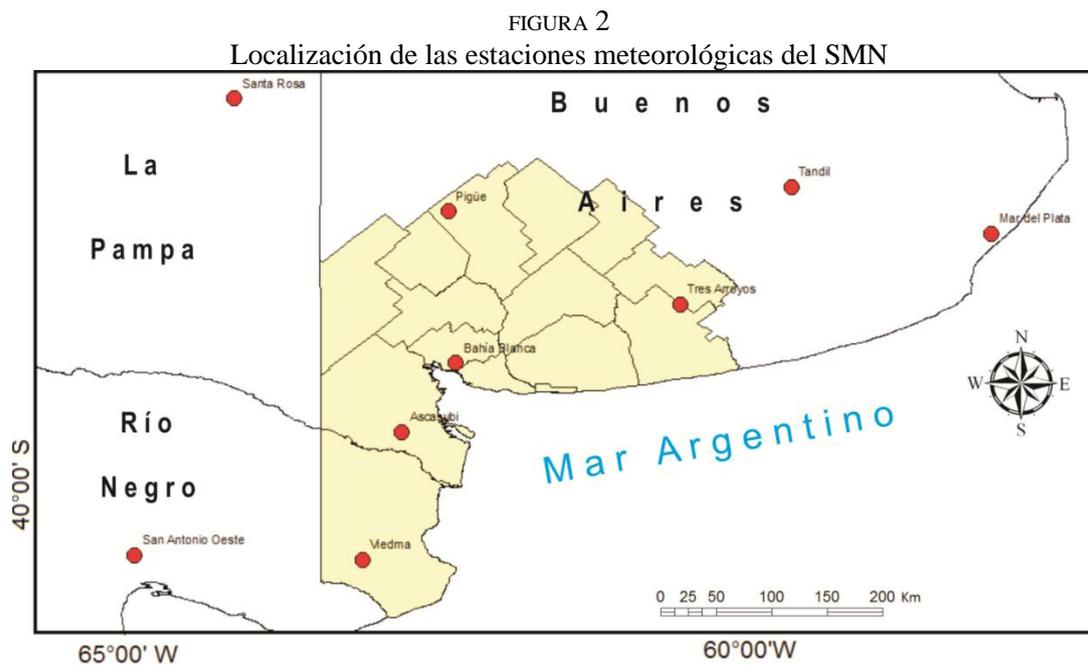
Se recopilieron datos de temperatura del aire, humedad relativa y precipitación de 9 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) para el período 1981-2010 (Figura 2). Estos datos fueron medias mensuales de temperatura, humedad relativa y precipitaciones. Se trabajó con un total de 3240 datos. La calidad de los registros del SMN fue analizada por DÍAZ (2001) para el período 1961-1990. Aquellos correspondientes al período 1991-2010 fueron sometidos a pruebas de normalidad, tendencia y consistencia teniendo en cuenta la guía de control de calidad de datos climatológicos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el Programa Mundial de Datos Climáticos (1984) aplicando la metodología expuesta por RUSTICUCCI Y BARRUCAND (2001).

Los datos del modelo numérico se obtuvieron del Reanálisis (NCEP/NCAR) a 1000 mb dado que los de superficie tenían mayor error (RUBINSTEIN *et al.*, 2004). Este modelo se compone de un grupo de productos del Centro de Predicción del Medio Ambiente Nacional (NCEP), el Centro Nacional de Investigación Atmosférica, y la National Oceanic and Atmospheric Administration / Clima Diagnostics Center (NOAA/CDC) (<http://wesley.wwb.noaa.gov/Reanalysis.html>). Los datos de ambas fuentes fueron utilizados para realizar una caracterización climática de la región del sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

La información del reanálisis y los registros medidos en superficie se compararon para analizar la calidad de los datos del reanálisis. El estudio se hizo aplicando técnicas estadísticas estándar y diferentes índices: Concordancia (C) (de proporción de acuerdos observados), R<sup>2</sup>, Pearson (P) y Spearman (S) con el fin de caracterizar el ajuste entre ambas fuentes de información. Los mismos se calcularon de forma mensual, estacional, anual y por decenios con un  $\alpha < 5\%$ . Se aplicó un análisis de regresión lineal para ajustar la temperatura del aire y la humedad relativa con los datos del modelo. Sobre los datos de precipitación fue necesaria una regresión polinómica dado que presentó el mejor ajuste entre el modelo numérico y datos de superficie. De esta manera se realizó una modelización estadística para cada uno de los parámetros meteorológicos. Sobre los resultados de ambas fuentes de información se aplicó una validación cruzada teniendo en cuenta los aportes de TAKAHASHI (2009) y ALVERO CRUZ

*et al.*, (2009). Se calculó el error estándar para conocer el sesgo de la precisión de cada variable. Los análisis se realizaron en dos escalas de tiempo: por decenios y climática (1981-2010). Las décadas estudiadas fueron 1980-1990, 1991-2000 y 2001-2010. También se aplicó un análisis estacional. Este último consideró una escala temporal trimestral. Es decir, que se realizó considerando el promedio de diciembre, enero y febrero para verano; marzo, abril y mayo para otoño; junio, julio y agosto para invierno y septiembre, octubre y noviembre para primavera.

Para la representación espacial de los resultados, se utilizó el método de interpolación Kriging Ordinario, con el modelo esférico con un tamaño de celda de 100 m<sup>2</sup>. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) este método es el que mejor se adapta para las geo-ciencias y tiene cada vez más aplicaciones en campos científicos como las pesquerías, silvicultura, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía y meteorología. Para aplicarlo se trabajó con el Software ArcGIS 9.3.



Fuente: Elaboración propia

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. ANÁLISIS POR DECENIOS Y ESTACIONAL

Los mejores ajustes se observaron en la temperatura del aire. Los índices de correlación, R<sup>2</sup> y la Concordancia evidenciaron la existencia de una buena correlación entre las series registradas en superficie y los del reanálisis (Tabla 1). La temperatura presentó el R<sup>2</sup> más alto en primavera y otoño y el más bajo en verano. La década de 2001-2010 presentó el menor ajuste (Pearson: 0,74 y Spearman: 0,71) de toda la serie estudiada (Tabla 1).

La humedad relativa tuvo el mejor ajuste en verano. La concordancia fue de 0,7 y el R<sup>2</sup> osciló entre 0,79 (veranos de 2001-2010) a 0,83 (veranos de 1981-1990) (Tabla 2.1.). La precipitación registró el ajuste más bajo. El R<sup>2</sup> más alto fue de 0,65 para la década de 1981-1990. La precipitación presentó los menores valores de concordancia debido a que el ajuste de los datos se realizó mediante una regresión polinómica. En general, se observaron buenos resultados en la primavera y los más bajos en el verano (Tabla 1).

TABLA 1

Análisis de regresión estacional entre las series registradas en superficie y los estimados.  $R^2$ = Coeficiente de regresión, P=Pearson, C=Concordancia, S=Spearman, n= 810 para cada estación del año,  $\alpha < 5\%$

TEMPERATURA	VERANO				OTOÑO				INVIERNO				PRIMAVERA			
	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S
1981-1990	0.85	0.90	0.54	0.90	0.96	0.98	0.83	0.98	0.81	0.84	0.25	0.79	0.94	0.96	0.87	0.97
1991-2000	0.86	0.93	0.68	0.93	0.98	0.99	0.87	0.97	0.81	0.90	0.36	0.89	0.96	0.98	0.93	0.98
2001-2010	0.85	0.92	0.80	0.93	0.97	0.99	0.92	0.95	0.58	0.74	0.26	0.71	0.94	0.97	0.93	0.95
HUMEDAD	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S
1981-1990	0.83	0.87	0.55	0.87	0.67	0.78	0.34	0.80	0.73	0.77	0.36	0.78	0.76	0.86	0.46	0.87
1991-2000	0.82	0.88	0.64	0.81	0.81	0.86	0.55	0.86	0.75	0.84	0.53	0.83	0.79	0.88	0.55	0.84
2001-2010	0.79	0.88	0.72	0.83	0.77	0.87	0.70	0.84	0.77	0.81	0.65	0.81	0.82	0.91	0.66	0.90
PRECIPITACION	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S	R <sup>2</sup>	P	C	S
1981-1990	0.11	0.21	0.01	0.18	0.38	0.34	0.02	0.36	0.38	0.35	0.04	0.37	0.65	0.36	0.04	0.31
1991-2000	0.03	0.18	0.01	0.16	0.21	0.31	0.01	0.31	0.21	0.27	0.02	0.26	0.35	0.10	0.01	0.22
2001-2010	0.01	0.18	0.01	0.14	0.08	0.28	0.03	0.32	0.08	0.29	0.01	0.31	0.38	0.39	0.04	0.29

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. ANÁLISIS CLIMÁTICO Y ESTACIONAL

Para calcular la temperatura media mensual del aire, la humedad relativa y la precipitación para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, se proponen las siguientes fórmulas para la modelización estadística:

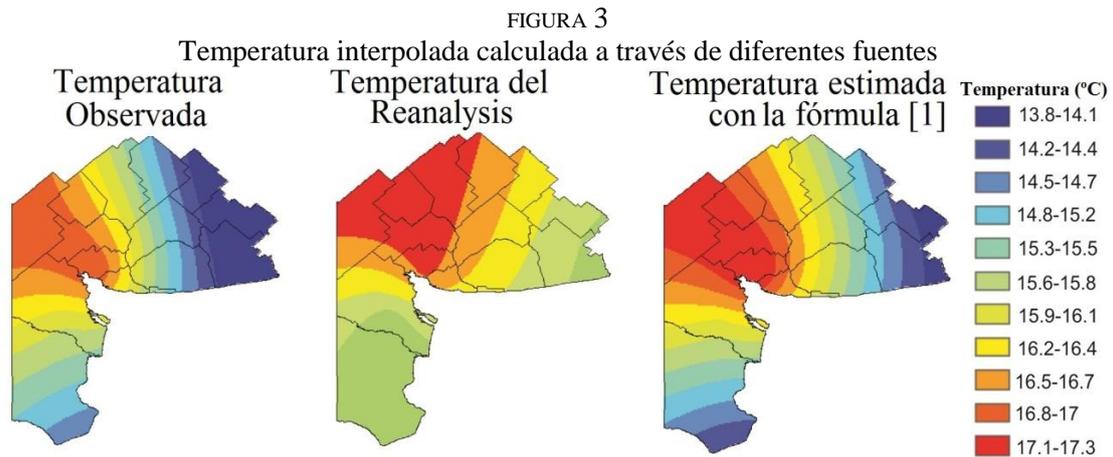
$$T_e = 1.0174 T_m - 1.6098 \quad [1]$$

$$H_{Re} = 0.7823 H_{R_m} + 21.33 \quad [2]$$

$$P_{pe} = 0.2546 P_{pm}^2 - 2.8626 P_{pm} + 27.441 \quad [3]$$

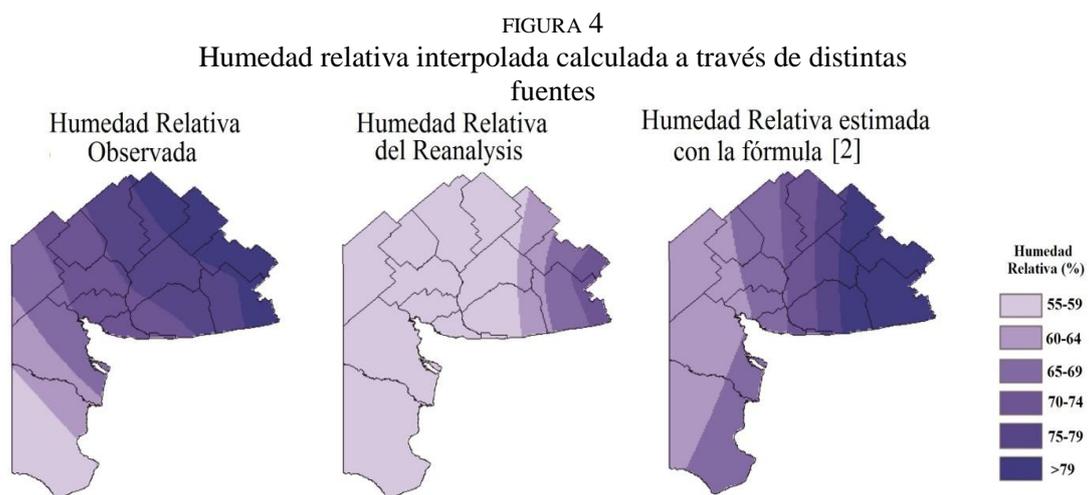
donde  $T_e$  es la temperatura del aire mensual estimada y  $T_m$  es la temperatura media del aire (1981-2010) obtenida del reanálisis,  $H_{Re}$  es la humedad relativa mensual estimada,  $H_{R_m}$  es la humedad relativa media (1981-2010) obtenida del reanálisis,  $P_{pe}$  es la precipitación mensual estimada y  $P_{pm}$  es precipitación media (1981-2010) obtenida del reanálisis.

La distribución espacial de la temperatura registrada en superficie, del reanálisis y la resultante de la fórmula 1 se presentan en la Figura 3. La temperatura estimada por la fórmula 1 presentó una distribución similar a la de las series registradas en superficie: la máxima temperatura se concentra en el centro de la región (15,5 °C) y disminuye hacia el sudoeste (14 °C) y este (13,5 °C). El error estándar de la estimación es de  $\cong 0,8$  °C.



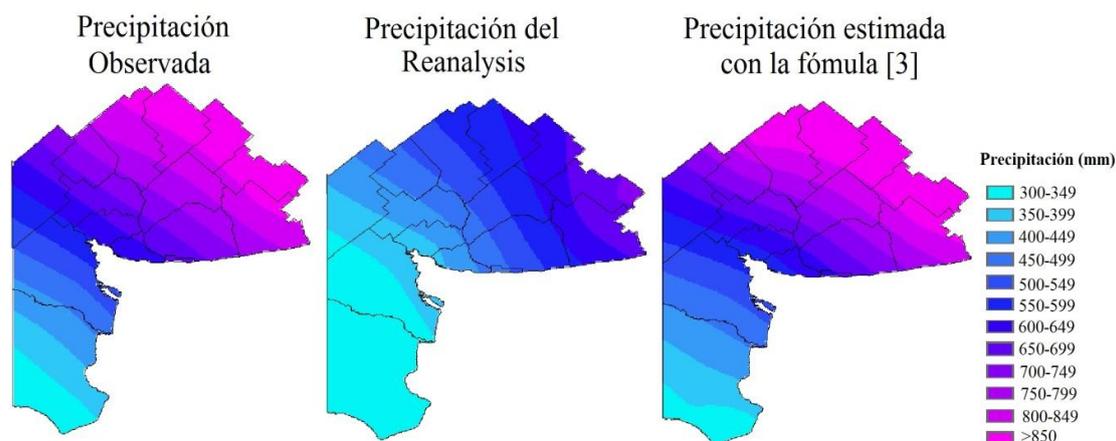
Fuente: Elaboración propia

Se observaron diferencias significativas al comparar la humedad relativa de las tres fuentes de datos. Los datos estimados por la fórmula 2 presentaron una buena correlación con las series registradas en superficie. En general, los datos del reanálisis fueron similares a estos últimos pero con valores inferiores ( $\cong 15\%$ ). Estas diferencias se deben a que los datos medidos en la superficie representan una estación fija, mientras que los resultados del reanálisis se generan para áreas de  $2.5^\circ$  de latitud y longitud. La distribución espacial de la humedad relativa (Figura 4) mostró una buena correlación en el sur y el este del área de estudio. Los mayores valores se concentran en el noreste (80%) y disminuyen hacia el sudoeste (50%). Las estimaciones utilizando la fórmula 2 tuvieron un error estándar de  $\cong 5\%$  en comparación con datos registrados en la superficie. Cuando se aplicó la modelización estadística propuesta, se observaron los valores más altos en el este y disminuyeron hacia el oeste (Figura 4). Estos resultados fueron similares a los calculados para la precipitación. La precipitación estimada fue mayor en el sur de la región en relación con las series medidas en la superficie (Figura 5). Los mayores valores se presentaron en el noreste ( $> 850$  mm) y disminuyeron hacia el sudoeste (350 mm). El error estándar para este parámetro fue de 12.1 mm.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5  
Precipitación interpolada calculada a través de distintas fuentes



Fuente: Elaboración propia

Los datos del reanálisis y los medidos en la superficie presentaron una buena correlación permitiendo realizar modelizaciones estadísticas para estimar los parámetros meteorológicos con un mínimo error. A pesar de ello, se observaron algunas diferencias estacionales. Los datos del reanálisis se correlacionaron mejor con datos observados en la superficie en otoño y primavera (Tabla 2). En verano e invierno, la temperatura del aire mostró valores más bajos de  $R^2$ , Pearson, Spearman y Concordancia. El  $R^2$  de la humedad relativa varió de 0,75 a 0,56 en verano e invierno, respectivamente. Además, los índices de Pearson y Spearman fueron siempre mayores que 0,75 y la concordancia mayor que 0,44. Mientras que la precipitación presentó los valores de Pearson y Spearman oscilantes desde 0,66 hasta 0,83, respectivamente. La concordancia fue inferior a 0,6 (Tabla 2).

TABLA 2  
Análisis de regresión estacional para el período 1981-2010 entre las series registradas en superficie y los estimados con la modelización estadística.  $R^2$ = coeficiente de regresión, P=Pearson, C=Concordancia, S=Spearman,  $\alpha < 5\%$

	VERANO				OTOÑO				INVIERNO				PRIMAVERA			
	$R^2$	P	C	S	$R^2$	P	C	S	$R^2$	P	C	S	$R^2$	P	C	S
<b>TEMP.</b>	0.61	0.78	0.51	0.75	0.94	0.97	0.85	0.91	0.45	0.67	0.23	0.72	0.86	0.93	0.85	0.94
<b>HUMEDAD</b>	0.75	0.87	0.60	0.81	0.70	0.83	0.50	0.85	0.56	0.75	0.44	0.75	0.73	0.85	0.49	0.83
<b>PRECIPITACION</b>	0.43	0.66	0.45	0.67	0.69	0.83	0.41	0.83	0.61	0.78	0.33	0.73	0.48	0.70	0.35	0.76

Fuente: Elaboración propia

El análisis climático (1981-2010) presentó índices de correlación más altos que el realizado por decenios. La precipitación mostró el ajuste más bajo en la regresión (Tabla 3). Sin embargo, se observaron buenos resultados para todas las variables: temperatura ( $R^2 = 0,98$ ), humedad relativa ( $R^2 = 0,82$ ) y precipitación ( $R^2 = 0,61$ ) (Tabla 3). Como todas las variables tuvieron un comportamiento similar, se presenta a modo de ejemplo en la figura 6 el gráfico de regresión para la temperatura con un intervalo de confianza del 95 %. Las características geográficas de cada emplazamiento influenciaron la bondad del ajuste logrado por los datos derivados del reanálisis. Esto se evidenció en los ejemplos presentados en las Figuras 7, 8 y 9.

La estación de Santa Rosa se vio afectada por la continentalidad, mientras que la de Tandil por la altura sobre el nivel del mar. En las estaciones de Viedma y Bahía Blanca, los valores de temperatura corregidos tuvieron escasas diferencias con respecto a los medidos en la superficie. La misma situación se observó en la humedad relativa y las precipitaciones en donde los valores

de la estimación se asemejaron más a los registros observados en la superficie que a los del reanálisis (Figura 7, 8 y 9).

TABLA 3

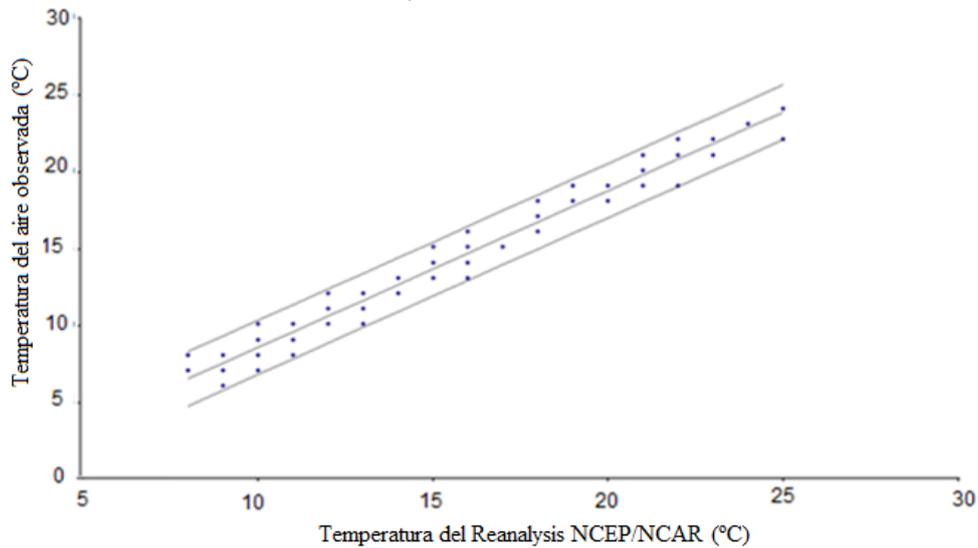
Parámetros de regresión entre las series registradas en superficie y los estimados por las fórmulas (1), (2) y (3) para el período 1981-2010.  $R^2$ = Coeficiente de regresión, P=Pearson, C=Concordancia, S=Spearman, E= Error Estándar  $\alpha < 5 \%$

Parámetros Meteorológicos	$R^2$	P	S	C	E
Temperatura – Fórmula 1	0.98	0.99	0.99	0.96	0.78 °C
Humedad – Fórmula 2	0.82	0.91	0.91	0.69	4.33 %
Precipitación – Fórmula 3	0.61	0.78	0.85	0.51	12.07 mm

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6

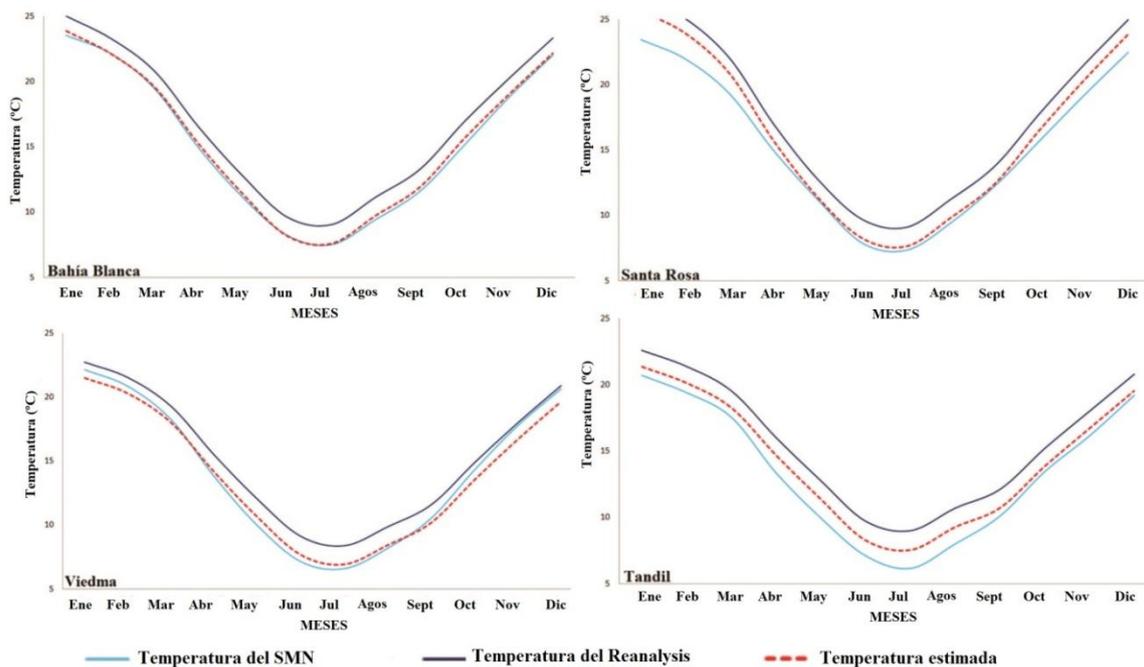
Intervalos de confianza al 95 % para la recta de regresión de los datos de temperatura observada y del reanálisis



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 7

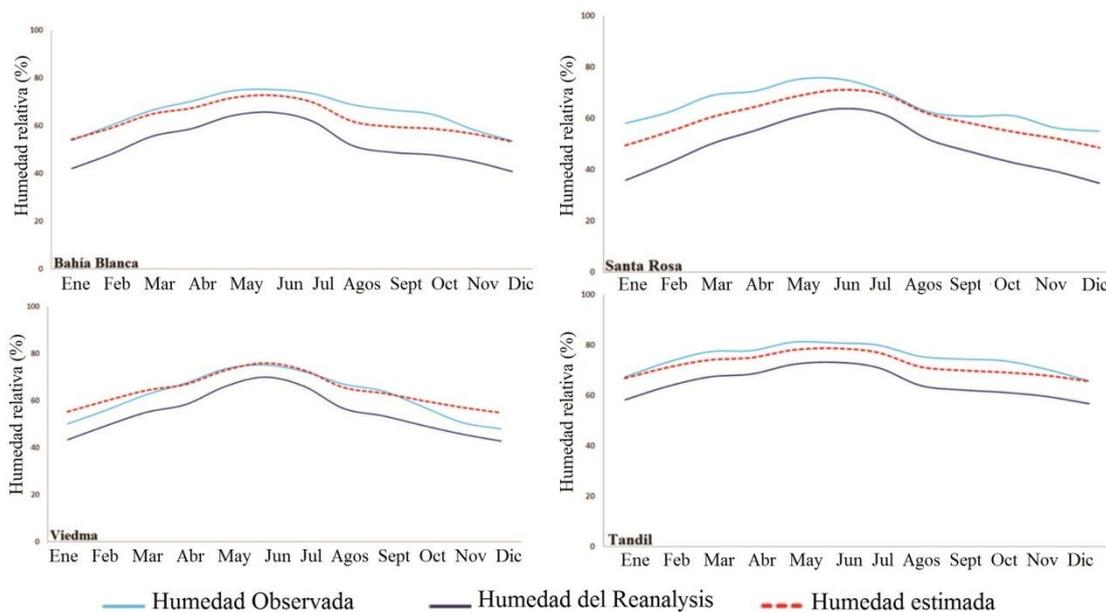
Relación entre la temperatura del SMN, del reanálisis y la estimada para el período 1981-2010



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 8

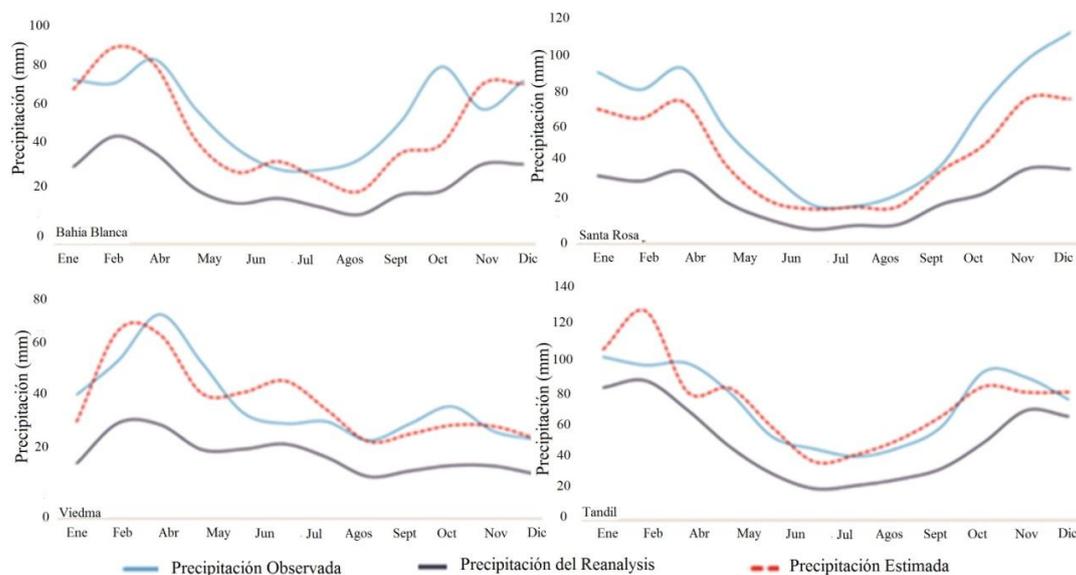
Relación entre la humedad relativa del SMN, del reanálisis y la estimada para el período 1981-2010



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 9

Relación entre la precipitación del SMN, del reanálisis y la estimada para el período 1981-2010



Fuente: Elaboración propia

La temperatura del aire estimada presentó mayores diferencias con respecto a la observada en Pigüé y Santa Rosa. Las menores correspondieron a Tres Arroyos y San Antonio Oeste. En esta última los valores medios observados y estimados fueron iguales. La diferencia media de temperatura de la región fue de  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La precipitación observada fue mayor que la estimada en la estación de Bahía Blanca y menor en la de Mar del Plata. La diferencia media de este parámetro fue de  $-9.3\text{ mm}$ . Por último, la diferencia entre la humedad relativa observada y la estimada osciló entre 3 y 5 % en las estaciones meteorológicas de Bahía Blanca, Ascasubi y Tres Arroyos, fue menor a 3 % en Mar del Plata, Tandil y Viedma y mayor a 5 % en San Antonio Oeste, Pigüé y Santa Rosa (Tabla 4).

TABLA 4

Diferencia entre los datos observados en la superficie y los estimados con la modelización estadística para el período 1981-2010. To. Temperatura observada. Te. Temperatura estimada. Ho. Humedad relativa observada. He. Humedad relativa estimada. Po. Precipitación observada. Pe. Precipitación estimada.

Estaciones Meteorológicas	To	Te	To - Te	Po	Pe	Po-Pe	Ho	He	Ho - He
Bahía Blanca	15.3	15.9	-0.6	647.8	615	32.8	65.6	62.5	3.1
Ascasubi	15.0	14.2	0.8	504.1	510	-5.9	61.0	64.4	-3.4
Pigüé	13.5	14.9	-1.4	803.7	825	-21.3	68.0	62.5	5.5
San Antonio Oeste	14.9	14.9	0.0	265.7	280	-14.3	53.8	59.5	-5.7
Santa Rosa	15.4	16.8	-1.4	747.4	770	-22.6	64.8	59.4	5.3
Tres Arroyos	14.2	14.6	-0.4	835.6	843	-7.4	68.1	72.0	-3.9
Viedma	14.2	14.2	0.0	376.2	400	-23.8	61.8	64.1	-2.3
Tandil	13.4	14.2	-0.8	868.9	890	-21.1	74.9	72.0	2.8
Mar del Plata	13.8	14.6	-0.8	930.5	931	-0.5	78.6	78.1	0.5

Fuente: Elaboración propia

#### 4. DISCUSIÓN

La utilización del reanálisis como método indirecto de obtención de información meteorológica es una herramienta útil para estimar la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Los datos de este modelo numérico presentan una extensa cobertura tanto espacial como temporal, lo que favorece el estudio de la variabilidad climática en zonas con escasas estaciones meteorológicas. A pesar de ello, el estudio por decenios y el análisis climático (1981-2010) realizado con las series registradas en superficie y estimadas por el reanálisis permitió concluir que una reducción en la escala temporal aumenta los errores tal como afirman SETH *et al.*, (2007). Teniendo en cuenta los aportes de KLISTER *et al.*, (2001) y RUSTICUCCI y KOUSKY (2002) los estudios climáticos no pueden ser llevados a cabo con los datos sin tratar del reanálisis debido a que evidencian errores espaciales, aunque resaltan que presentan buenos ajustes en las mediciones de superficie.

Coincidiendo con XUE *et al.*, (2014) se destaca la importancia de los métodos estadísticos de downscaling. Los mismos permiten modelar las relaciones estacionarias entre una serie de datos observados a escala local y los datos del reanálisis, de tal manera que aquella puede ser reconstruida y extrapolada a partir del modelo obtenido (COULIBALY *et al.*, 2005; MIRO *et al.*, 2010). Al igual que WILBY *et al.*, (2004) y HAYLOCK *et al.*, (2006) se corroboró que este método tiene algunas deficiencias en los eventos extremos y en los cambios estacionales. El cambio climático podría generar variaciones que alteren las relaciones estacionarias en que se sustenta el modelo estadístico obtenido. Estos métodos de downscaling han sido aplicados en otras partes del mundo con éxito. Se destaca el trabajo de TAKAHASHI (2009) sobre la precipitación en la cuenca del Mantaro y específicamente en lo referente al reanálisis se encuentran en la literatura los trabajos de MIRO *et al.*, (2012) y MIRÓ PÉREZ *et al.*, (2015).

Las correlaciones fueron mayores para la temperatura que para el resto de los parámetros. Al igual que MIRO *et al.*, (2012) se encontraron mayores diferencias al analizar los datos a menor escala temporal, por ejemplo, la escala estacional presentó mayores errores en el verano e invierno que en las estaciones equinocciales. La precipitación mantuvo un buen ajuste pero fue el menor de todas las variables. En este sentido TAKAHASHI (2009) sugiere que para el estudio de este parámetro se incorporen series más completas de tiempo y mayor número de estaciones meteorológicas para lograr una mayor precisión. Además, considera que los eventos extremos como la sequía podrían afectar los resultados de los métodos de downscaling. Por ello, es necesario tener un mayor conocimiento de los eventos a gran escala. A pesar de lo mencionado, la modelización estadística realizada en este estudio tiene un error estándar de 12.1 mm para la región, por lo que se la consideró aceptable. Un caso similar se observó en la humedad relativa en donde el error estándar no superó el 5 % en ninguno de los casos.

#### 5. CONCLUSIONES

Se considera importante tener datos meteorológicos para desarrollar estudios ambientales, tales como gestión del agua, planificaciones urbanas, etc. En algunas regiones, los datos meteorológicos son escasos o sus series de tiempo son cortas. Por lo tanto, los actores sociales y los tomadores de decisiones pueden obtener información a partir de modelos numéricos, a pesar del hecho de que pueden representar con poca precisión las mediciones observadas en la superficie.

En este trabajo, los datos del reanálisis se utilizaron para realizar modelizaciones estadísticas con el objetivo de caracterizar variables climáticas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Mediante la aplicación de las fórmulas [1, 2 y 3] la estimación de estos parámetros tuvo mejor precisión y ajustes estadísticos. El análisis climático presentó los mejores resultados en primavera y otoño y se encontraron algunas diferencias en el invierno y el verano. Es importante resaltar que debido a la buena correlación y ajuste que existe entre los datos del reanálisis y los datos observados en la superficie, la metodología propuesta puede replicarse en cualquier parte del mundo.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, (CONICET), al proyecto COMET-LA (Community-based Management of Environmental Challenges in Latin America) y a la Universidad Nacional del Sur por la financiación del presente trabajo. Además al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) por brindar la información meteorológica. Además deseamos agradecer a la información NARR proporcionada por NOAA/AOR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, Estados Unidos desde su página web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ALVERO CRUZ, J. R., CABAÑAS ARMESILLA, M. D., HERRERO DE LUCAS, A., MARTINEZ RIAZA, L., MORENO PASCUAL, C., PORTA MANZANIDO, J., SILLERO QUINTANA, M., SIVENT BELANDO, J. E. (2009): *Archivos de Medicina del Deporte*. "Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento del consejo del grupo español de cineantropometría de la federación española de medicina del deporte" vol. 131, p. 166-179.
- CAMPO DE FERRERAS A.M., CAPELLI DE STEFFENS A. M. Y DIEZ G.P. (2004) *El Clima del Suroeste Bonaerense*. EdiUNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, 99 pp.
- CAPELLI DE STEFFENS A. Y CAMPO DE FERRERAS A. (1994) *La transición climática en el Sudoeste Bonaerense*. EdiUNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, 76 pp.
- CAPELLI DE STEFFENS A., PICCOLO M. C. Y CAMPO DE FERRERAS A. (2005) *Clima urbano de Bahía Blanca*. Dunken, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, 203 pp.
- COULIBALY P., DIBIKE YB., ANCTIL F., (2005): *Journal of Hydrometeorology*. "Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks", vol. 6(4), p. 483-496.
- DE RUYVER R., DENEGRI M. J. Y ORICCHIO P. (2012): *Revista Meteorológica*. "Mapa de riesgos de temperaturas frías para el sur de la provincia de Buenos Aires usando datos satelitales y de superficie", vol. 37, p. 37-46.
- DÍAZ, R. A. (2001): *Calidad de las series mensuales de temperaturas y lluvias en Argentina*. Actas de la III Reunión Latino-Americana de Agrometeorología. Fortaleza, Brasil, 641-642 pp.
- HAYLOCK MR., CAWLEY GC., HARPHAM C., WILBY RL., GOODESS CM. (2006): *International Journal of Climatology*. "Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: a comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios", vol. 26(10), p. 1397-1415.
- HIJMAN R. J., CAMERON S. E., PARRA J. L., JONES P. G. Y JARVIS, A. (2005): *International Journal of Climatology*. "A very high resolution interpolated climate surfaces for global lands areas", vol. 65, p. 1965-1978.
- HURRELL J. W. Y TRENBERTH E. T. (1999): *Bull. Amer. Meteor. Soc.* "Global Sea Surface Temperature Analyses: multiple problems and their implication for climate analysis, modeling and reanalysis", vol. 80, p. 2662-2678.
- KALNAY E. M., KANAMITSU R., KISTLER W., COLLINS D., DEAVEN L., GANDIN M., IREDELL S., SAHA G., WHITE J., WOOLLEN Y., ZHU M., CHELLIAN W., EBISUZAKI W., HIGGINS J., JANOWIAK K. C., MO C., ROPELEWSKI J., WANG A., LEETMAA R., REYNOLDS R. Y JOSEPH D. (1996): *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* "The NCEP/ NCAR 40-year Reanalysis project", vol. 77, p. 437-471.
- KLISTER R., KALNAY E., COLLINS W., SAHA S., WHITE G., WOOLLEN J., CHELLIAH M., EBISUZAKI W., KANAMITSU M., KOUSKY V., VAN DEL DOOL H., JENNE R. Y FIORINO M. (2001): *Bull. Am. Meteorol. Soc.* "The NCEP NCAR 50 year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and documentation", p. 247-267.
- MESINGER F., DI MEGO G., KALNAY E., MITCHEL K., SHAFRAN P.C., EBISUZAKI

- W., JOVIC D., WOOLLEN J., ROGERS E., BERBERY E.H., EK M.B., FAN Y., GRUMBINE R., HIGGINS W., LI H., LIN Y., MANIKIN G., PARRISH D. Y SHI W. (2006): *American Meteorological Society*. "North American Regional Reanalysis", vol. 80, p. 343-360.
- MIRÓ, J.J., ESTRELA, M.J., PASTOR, F., MILLÁN, M., (2010): *Investigaciones Geográficas*. "Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos inputs, entre los dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958–2008)", vol. 49, p. 129–157.
- MIRÓ, J.J., ESTRELA, M.J., BARBERÁ, M.J., (2012): *Análisis de tendencias de series diarias de temperatura a partir de un downscaling estadístico con datos de reanálisis y redes neuronales. Aplicación a la Comunidad Valenciana*. En: RODRÍGUEZ-PUEBLA, et al. (Eds.), Cambio climático. Extremos e impactos. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología A-8, p. 549–560.
- MIRÓ PÉREZ, J. J., ESTRELA NAVARRO, M.J., OLCINA CANTOS, J., (2015): *Atmospheric Research*. "Statistical downscaling and attribution of air temperature change patterns in the Valencia region (1948-2011)", vol. 156, p. 189-212.
- RUBINSTEIN K.G., KHAN V.M., STERIN A.M. (2004): *Qualitative comparison of air temperature trends based on NCAR/NCEP reanalysis, model simulations and aerological observations data*. 35th COSPAR Scientific Assembly. Held 18 - 25 Julio 2004, Paris, Francia. p.2183.
- RUSTICUCCI M. M. Y KOUSKY V. E. (2002): *American Meteorological Society*. "A comparative study of maximum and minimum temperatures over Argentina: NCEP-NCAR Reanalysis versus station data", vol. 15, p. 2089-2101.
- RUSTICUCCI, M. M, BARRUCAND, M. G. (2001): *Meteorológica*. "Climatología de Temperaturas Extremas en la Argentina, Consistencia de Datos. Relación entre la Temperatura Media Estacional y la Ocurrencia de Días Extremos", vol. 26, p. 69–83.
- SETH A., RAUSCHER S. A. Y CAMARGO S. J. (2007): *Clim Dyn*. "RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields", vol. 28, p. 461-480.
- STRAHLER A. Y STRAHLER A. (1989): *Geografía Física*. Omega, Barcelona, España, 694 pp.
- TAKAHASHI, K., (2009): *Downscaling estadístico de la precipitación en la cuenca del Mantaro Parte I: Variabilidad climática interanual*. Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, 10 pp.
- WILBY, R.L., CHARLES, S.P., ZORITA, E., TIMBAL, B., WHETTON, P., MEARNES, L.O., (2004): *Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods*. Supporting Material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 27 pp.
- XUE, Y., JAJNIC, Z., DUDHIA, J., VASIC, R., DE SALES, F., (2014): *Atmos. Res*. "A review on regional dynamical downscaling in intra-seasonal to seasonal simulation/prediction and major factors that affect downscaling ability", vol. 147-148, p. 68-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.05.001>.
- ZHAO T., GUO W. Y FU C. (2007): *Journal of Climate*. "Calibrating and evaluating reanalysis surface temperature error by topographic correction", vol. 21, p. 1440-1446.