

## **Caracterización meteorológica de las campañas estivales 1994-95 y 1995-96, en la isla Livingston (Shetland del Sur)**

### **Meteorological characterization of summer campaigns, 1994-95 and 1995-96, on Livingston Island (South Shetland Islands)**

R. RODRÍGUEZ y J. CALVET

*Dept. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. Spain.*

#### RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis de los datos de temperatura, radiación global, radiación difusa y humedad relativa, simultáneos, registrados en la isla Livingston durante las campañas de verano de 1994-95 y 1995-96. Los datos corresponden a dos estaciones, una instalada en la Base Antártica Española Juan Carlos I y otra instalada sobre el Glaciar Johnsons. Se ha establecido la correlación de las variables medidas en la Base con las obtenidas en el glaciar. A su vez, los resultados obtenidos permiten calcular por regresión los correspondientes al glaciar, en las campañas donde no se obtuvieron datos in situ. También, se caracterizan las evoluciones medias diarias de la temperatura, radiación y humedad mediante modelos periódicos. Por último se estudian la relación de la temperatura y nubosidad con respecto a la velocidad y dirección del viento. Algunos de los resultados obtenidos se han comparado con éxito con los obtenidos a partir de los registros de la base antártica de Bellingshausen.

*Palabras clave:* Livingston. Antártida. Meteorología. Glaciar. Temperatura.

#### ABSTRACT

Temperature, global and diffuse radiation and relative humidity were analysed on Livingston Island during the summer campaigns of 1994-95 and 1995-96. The data were obtained at two stations: one located at the Base Antártica Española Juan Carlos I (BAE) and the other on Johnsons Glacier (JG). The variables at the BAE were correlated with those on the JG. The JG data series had a few gaps which were filled in by linear regression using the data from BAE. The mean daily evolution of temperature, radiation and humidity were characterised by means of periodic models. The relationship of temperature and cloudiness with respect to wind speed and wind direction was also studied. Some of the results obtained were compared with those obtained at the Antarctic Base of Bellingshausen.

*Key words:* Livingston. Antarctica. Meteorology. Glacier. Temperature.

## EXTENDED ABSTRACT

One of the objectives in terms of meteorology and climatology is to obtain meteorological data in order to characterize the climate and study its evolution. At the Base Antártica Española Juan Carlos I (BAE) on Livingston Island (South Shetland Islands) meteorological data have been recorded during summer campaigns since 1987. However, the meteorological data obtained are not homogeneous for a number of reasons: different instrumentation used, different measurement intervals and different campaign duration.

Temperature, global and diffuse radiation and relative humidity were analysed at the BAE (62°40'S, 60°23'W, 12 m a.s.l.) and on Johnsons Glacier (JG, 62°42'S, 60°19'W, 332 m a.s.l.), see Fig. 1.

The data at the BAE were collected by Miguel Ramos (University of Alcalá de Henares) and those on the JG by the Programa Nacional de Investigación en la Antártida. Data collection was performed every 10 min and averages were calculated every 30 min. Curves of the daily evolution of each meteorological variable (Figs. 2, 3, 4 and 5) were obtained for the BAE and for the JG following quality assessment and statistical description of the data.

Subsequently the linear regression between the BAE and the JG (Figs. 6 and 7) was obtained in order to fill in the gaps present in the JG series. The wind cannot be correlated given the leeward situation of the BAE.

For the wind, in addition to its statistical characterisation (Figs. 8 and 9) its relationship with temperature (Fig. 10) and cloudiness (Fig. 11) was assessed. Cloudiness was estimated from the difference between the global and the diffuse radiation. Thus, the relationships between thermal and cloud advections, wind speed and wind direction were studied. The results obtained for temperature were compared with those obtained using the temperature series of the Russian Base of Bellingshausen, on King George Island.

---

### INTRODUCCIÓN

Las series meteorológicas de la BAE tienen una escasa longitud, ya que tan solo existen registros desde 1987. A lo largo de las campañas se han ido sucediendo diferentes criterios en la toma de datos, ya sean diferentes sensores o ubicaciones como cadencias y variables seleccionadas en el registro de datos (Tabla 1). Como consecuencia de todo ello no se ha podido confeccionar una serie capaz de corroborar la tendencia a la disminución del intervalo térmico obtenido para las bases chilenas de Arturo Prat, isla Greenwich, y Eduardo Frei, isla King George, (Rodríguez et al., 1996) o la base polaca Arctowski, isla King George (Rodríguez y Llasat, 1997) (Fig. 1).

Dada la importancia que hoy en día tienen los datos meteorológicos para la comunidad científica, se han clasificado, filtrado y elaborado los datos meteorológicos de temperatura, radiación global, radiación difusa y humedad relativa, procedentes, tanto de la BAE (12 m de altitud) como del Glaciar Johnsons (332 m de altitud) (Fig. 1), construyéndose un modelo de regresión entre ellos. Estos modelos persiguen proporcionar una herramienta de evaluación de las variables meteorológicas del glaciar, a partir de los registros de otras cam-

ñas donde se han obtenido datos exclusivamente de la BAE.

A su vez se han caracterizado los regímenes de viento, a partir de sus componentes zonal y meridional y se ha establecido una caracterización de las advecciones térmica y de nubosidad.

Por último, se han elaborado, aplicando la misma metodología, registros de temperatura y viento correspondientes a la base Bellingshausen en la isla King George (Fig. 1), analizando comparativamente los resultados con los obtenidos en la isla Livingston, con el fin de validar y, en cierto grado, generalizar las conclusiones que de ellos se deriven.

### METODOLOGÍA Y RESULTADOS

#### Calidad y Homogeneidad

En este estudio se ha trabajado con los datos registrados en las campañas 94-95 y 95-96, correspondientes a los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Los registros tienen una cadencia de origen de 30 minutos obtenidos por promedios cada 10 minutos. Los datos presen-

| Estadístico     | T1   | T2   | TS | U1    | U2    | Rg               | Rd               | v1   | v2    | u1   | u2    |
|-----------------|------|------|----|-------|-------|------------------|------------------|------|-------|------|-------|
| Unidades        | °C   | °C   | °C | %     | %     | Wm <sup>-2</sup> | Wm <sup>-2</sup> | m/s  | m/s   | m/s  | m/s   |
| Media           | 2.6  | 2.2  | -  | 83.5  | 83.9  | 159.4            | 16.1             | -0.6 | -1.0  | -0.2 | -0.4  |
| Desv. Estándar. | 1.4  | 1.3  | -  | 11.0  | 10.5  | 215.8            | 23.0             | 1.6  | 2.3   | 1.6  | 2.3   |
| Curtosis        | 0.1  | 0.3  | -  | 1.0   | 1.4   | 2.2              | 3.0              | 0.2  | 1.7   | 1.3  | 2.5   |
| Asimetría       | 0.1  | 0.1  | -  | -1.0  | -1.1  | 1.7              | 1.9              | -0.1 | -0.6  | -0.9 | -1.0  |
| Intervalo       | 9.1  | 9.1  | -  | 59.0  | 59.0  | 944.0            | 110.0            | 11.1 | 19.5  | 10.1 | 17.6  |
| Mínimo          | -1.0 | -1.2 | -  | 41.0  | 41.0  | 0.0              | 0.0              | -6.4 | -12.0 | -5.9 | -10.0 |
| Máximo          | 8.1  | 7.9  | -  | 100.0 | 100.0 | 944.0            | 110.0            | 4.7  | 7.5   | 4.2  | 7.6   |

Tabla 1. Estadísticos BAE. Campaña 95-96.

Table 1. Statistics of BAE. 95-96 campaign.

taban a su vez un leve desfase temporal, de 4 minutos entre la BAE y el Glaciar, que ha sido despreciado dada su escasa significación térmica. Una vez confeccionadas las series, es necesario evaluar la calidad, homogeneidad y continuidad de las mismas.

Para evaluar la calidad de los datos se ha utilizado el método de la equiprobabilidad de datos significativos y una adaptación del Real Precisión Index, RPI, (Petrovic, 1998) para series temporales de corta longitud. Este método evalúa la frecuencia, así como su posible sesgo, de aparición de los diferentes dígitos en la última cifra significativa del registro. Para un número suficientemente largo de registros existe equiprobabilidad en la aparición de cada uno de ellos. El sesgo en la distribución de los dígitos insinúa deficiencias atribuibles, o bien al sensor, o bien a factores humanos en la toma o transcripción de los datos. Para evaluar cuantitativamente este criterio se ha utilizado el índice RPI, que se obtiene a partir de la expresión:

$$RPI = \frac{2N}{2N - D_{abs}} \cdot P$$

donde N es el número total de registros, P la precisión de la variable, (unidad, décima, etc.) y  $D_{abs}$  la suma del valor absoluto de las desviaciones entre la frecuencia esperada y la frecuencia observada:

$$D_{abs} = \sum_{i=0}^9 \left| n_{obs}(i) - \frac{N}{10} \right|$$

siendo  $n_{obs}(i)$  la frecuencia absoluta de aparición del dígito i de la última cifra significativa.

El límite inferior del RPI es P, creciendo en función del alejamiento de la equiprobabilidad de los dígitos. Los

índices obtenidos muestran polarizaciones sobre los dígitos 0 y 5 más frecuentes en la campaña 94-95. Sin embargo, los RPI obtenidos están en el intervalo [1,0-1,5] por lo que no se detectan fallos de precisión relevantes.

Los registros de cada campaña representan una muestra sesgada de la evolución anual y debido a la falta de continuidad temporal, la evaluación de la homogeneidad no puede practicarse según métodos tradicionales aplicados a series temporales, tales como el método Roberts de homogeneidad absoluta (Rodríguez et al., 1996) o relativa (Alexandersson, 1986). Sin embargo, el análisis subjetivo de la estacionaridad de la desviación estándar en el tiempo (Rodríguez, 1995) permite aseverar su homogeneidad. Se han suprimido todos los registros cuyo nivel de confianza era inferior al 5 %.

### Seriación

La etapa más drástica en la seriación consiste en el cruce de las distintas variables con el fin de obtener una serie temporal completa de todas las variables meteorológicas, donde para cada t (unidad de tiempo) representado exista un valor de todas las variables analizadas.

Para la primera campaña analizada, los datos útiles y completos representan el 19% del total de registros, lo que supone 756 datos. La segunda campaña es más rentable ya que el porcentaje de los datos es del 58%, lo que supone 2.545 registros.

Algunas variables han sufrido transformaciones. Con los registros de vientos dados en componentes zonal y meridional se han calculado los módulos y los argumentos correspondientes en el sistema habitual de rosa de los

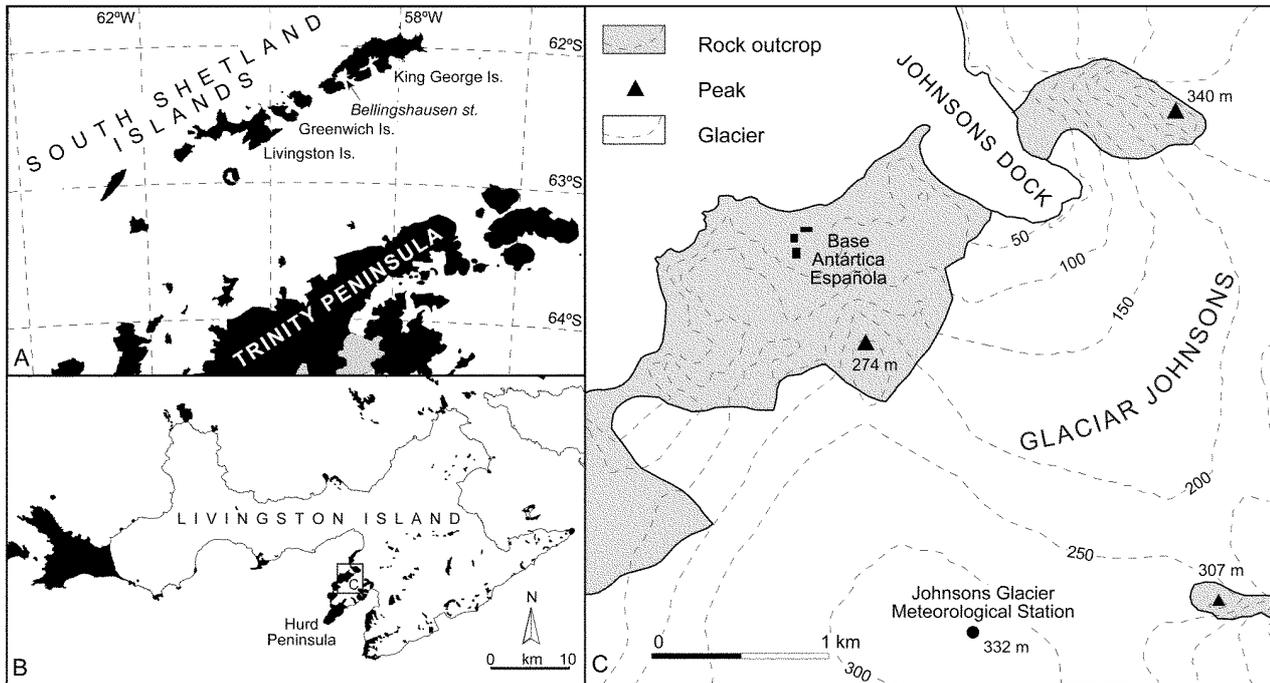


Figura 1. A) y B) Situación de la isla Livingston y del archipiélago de las Shetland del Sur, C) Localización de la BAE y de la estación meteorológica en el glaciar Johnsons.

Figure 1. A) and B) Situation of Livingston Island and the South Shetland archipelago, C) Location of the BAE and the meteorological station on Johnsons Glacier.

vientos. También se ha estimado la nubosidad a partir de las diferencias entre la radiación global y la difusa.

### Descripción estadística

Una vez filtrados y cruzados los registros, se ha procedido a calcular los estadísticos correspondientes para cada campaña, lo que proporciona el orden de magnitud de las variables y da idea del recorrido o amplitud de éstas. Las tablas 1 y 2 presentan los resultados de los estadísticos más usuales tales como el valor medio, el recorrido, la desviación típica, el sesgo y la curtosis. Los resultados de la campaña 95-96 se presentan en la tabla 1, datos de la BAE, y en la tabla 2, datos del Glaciar Johnsons.

### Evolución media diaria

A partir de la ordenación horaria de los registros se ha calculado la evolución media para las variables meteorológicas susceptibles de poseer una componente periódica

diaria, esto es, la temperatura, radiación y humedad relativa. A su vez, se han construido curvas basadas en ajustes de Fourier que modelizan las evoluciones medias horarias. Este estudio se ha realizado con el fin de establecer un modelo cualitativo de evolución estacionaria de dichas variables, prescindiendo de tendencias climáticas dada la escasa longitud temporal de las series, y sin ambiciones cuantitativas de ninguna índole.

Los resultados de la modelización se muestran en las figuras 2, 3 y 4. A rasgos generales llama la atención los desfases temporales entre las evoluciones en la BAE y las del glaciar, motivados por la orografía que rodea las estaciones meteorológicas.

Dado que los datos fueron registrados en las campañas de verano, se ha obtenido una única curva modelo con un solo término periódico, es decir un ajuste trigonométrico.

Las expresiones de la modelización media diaria para la temperatura (Fig. 2) registrada en la BAE y en el glaciar son:

| Estadístico    | T1   | T2   | TS   | U1   | U2 | Rg               | Rd               | u1    | u2    | v1    | v2    |
|----------------|------|------|------|------|----|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Unidad         | °C   | °C   | °C   | %    | %  | Wm <sup>-2</sup> | Wm <sup>-2</sup> | m/s   | m/s   | m/s   | m/s   |
| Media          | -0.8 | -0.9 | -2.5 | 89.6 | -  | 179.8            | 129.2            | -0.4  | -0.5  | -0.7  | -0.9  |
| Desv. Estándar | 1.5  | 1.7  | 0.9  | 9.8  | -  | 208.5            | 154.2            | 3.4   | 3.8   | 4.8   | 5.0   |
| Curtosis       | 2.3  | 3.3  | 9.3  | 5.2  | -  | 1.2              | 0.7              | 2.0   | 0.4   | 10.7  | -0.4  |
| Asimetría      | -0.8 | -0.9 | -2.8 | -2.2 | -  | 1.3              | 1.2              | 0.1   | 0.3   | -1.0  | -0.3  |
| Intervalo      | 11.6 | 13.4 | 8.8  | 57.1 | -  | 970.5            | 661.9            | 44.0  | 22.5  | 86.6  | 28.0  |
| Mínimo         | -8.0 | -8.9 | -8.7 | 39.8 | -  | 0.0              | 0.0              | -25.9 | -11.2 | -49.2 | -15.3 |
| Máximo         | 3.6  | 4.5  | 0.2  | 97.0 | -  | 970.5            | 661.9            | 18.1  | 11.3  | 37.4  | 12.7  |

Tabla 2. Estadísticos glaciario Johnson. Campaña 95-96.

Table 2. Statistics of Johnsons Glacier. 95-96 campaign.

$$\overline{T_{BAE}(h)} = 2.2 + 0.6 \sin \frac{(h-12)}{12}$$

$$\overline{T_G(h)} = 0.8 + 0.5 \sin \frac{(h-10)}{12}$$

donde h es la hora GMT.

Como se puede observar, las amplitudes de las evoluciones medias diarias de la temperatura son del mismo orden de magnitud, aproximadamente de 0,5 °C, siendo le-

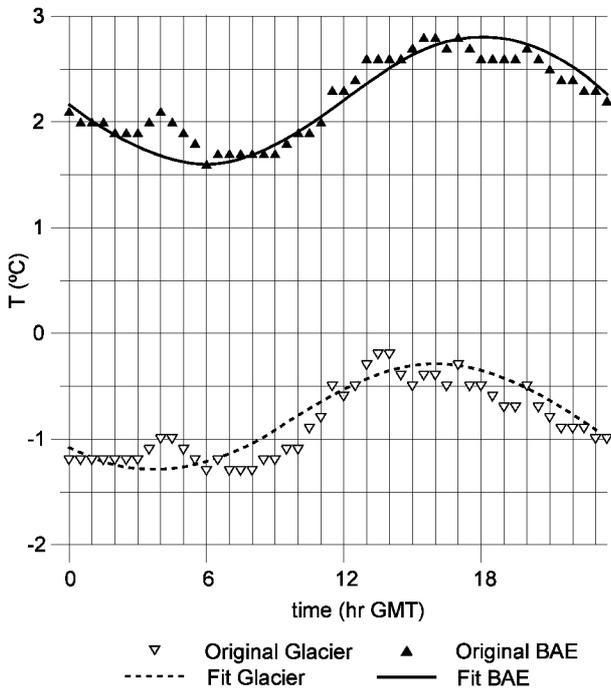


Figura 2. Evolución media diaria de la temperatura.

Figure 2. Mean daily evolution of temperature.

vemente superior la correspondiente a la BAE, cuyo intervalo térmico medio (siempre en la campaña de verano) es de 1,2 °C, mientras que en el glaciario es de 1,0 °C. La diferencia de las fases es de 2 h.

Las expresiones correspondientes a la radiación global y difusa (Figs. 3 y 4) son:

$$\overline{R_{global}^{BAE}}(h) = \begin{cases} 0.0 \Leftrightarrow 1.0 < h < 6.0 \\ 442.0 \cos^2 \frac{\pi(h+3.0)}{19} \Leftrightarrow 6.0 \leq h < 24.0 \\ 442.0 \cos^2 \frac{\pi(h+27.0)}{19} \Leftrightarrow 0.0 \leq h \leq 1.0 \end{cases}$$

$$\overline{R_{global}^{Glaciario}}(h) = \begin{cases} 0.0 \Leftrightarrow 1.0 < h < 6.0 \\ 446.0 \cos^2 \frac{\pi(h+3.5)}{19} \Leftrightarrow 6.0 \leq h < 24.0 \\ 446.0 \cos^2 \frac{\pi(h+27.5)}{19} \Leftrightarrow 0.0 \leq h \leq 1.0 \end{cases}$$

$$\overline{R_{Difusa}^{BAE}}(h) = \begin{cases} 0.0 \Leftrightarrow 1.0 < h < 6.0 \\ 43.0 \cos^2 \frac{\pi(h+3.5)}{19} \Leftrightarrow 6.0 \leq h < 24.0 \\ 43.0 \cos^2 \frac{\pi(h+27.5)}{19} \Leftrightarrow 0.0 \leq h \leq 1.0 \end{cases}$$

$$\overline{R_{Difusa}^{Glaciario}}(h) = \begin{cases} 0.0 \Leftrightarrow 1.0 < h < 6.0 \\ 336.0 \cos^2 \frac{\pi(h+3.5)}{19} \Leftrightarrow 6.0 \leq h < 24.0 \\ 336.0 \cos^2 \frac{\pi(h+27.5)}{19} \Leftrightarrow 0.0 \leq h \leq 1.0 \end{cases}$$

Llama la atención el contraste entre las amplitudes de la radiación difusa en la BAE y en el glaciar debido fundamentalmente al fenómeno de la multireflexión. La diferencia de fase es de 0,5 h. La duración media de la luz solar es de 19 h.

La humedad relativa (Fig. 5) también presenta un comportamiento periódico diario, debido fundamentalmente al enfriamiento radiativo. La amplitud correspondiente a la BAE es de 4% siendo levemente inferior la correspondiente a la del glaciar que es de 3,9%. El desfase entre una y otra es de 1 h.

### Regresión BAE - glaciar Johnsons

Con el fin de establecer la correlación de las variables meteorológicas medidas en la Base con las obtenidas en el glaciar Johnsons, se ha utilizado la regresión lineal y la distribución de residuos con el fin de obtener un mapa escalar de líneas isoprobables.

#### Temperatura

La recta de regresión correspondiente a la temperatura tiene la expresión:

$$T_{Glaciar} = 0.963T_{BAE} - 2.951$$

Así pues, puede deducirse que la diferencia promedio de temperaturas entre la BAE y el glaciar es del orden de  $-3,0^{\circ}\text{C}$ , que a su vez concuerda con la aproximación realizada con el gradiente adiabático de temperatura,  $\gamma = 0,98^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ , ya que la altitud de la estación en el glaciar es de 332 m.

$$\overline{U_{BAE}}(h) = 83.0 + 4.0 \sin \frac{h}{12}$$

Con este ajuste se ha obtenido un coeficiente de correlación  $r = 0,87$ , que es aceptable para este tipo de variables.

$$\overline{U_{Glaciar}}(h) = 89.0 + 3.9 \sin \frac{(h+1)}{12}$$

La figura 6 muestra dicha representación calculada a partir de los datos de la campaña 95-96. Se puede observar la elevada probabilidad de los puntos correspondientes a la recta de regresión, del orden del 60 %, para temperaturas inferiores a  $4,0^{\circ}\text{C}$  y del 45% para temperaturas

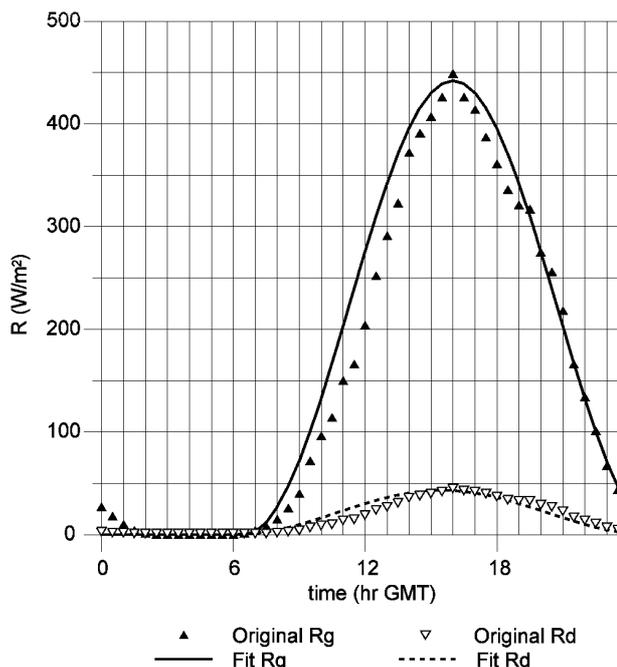


Figura 3. Evolución media diaria de la radiación global (Rg) y difusa (Rd) en la BAE.

Figure 3. Mean daily evolution of global (Rg) and diffuse (Rd) radiation at BAE.

superiores. El marcado gradiente indica que la incertidumbre de las aproximaciones es baja,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , prácticamente al 90% de los casos.

#### Radiación

Las correlaciones Base-glaciar correspondientes a la radiación presentan coeficientes de correlación levemente inferiores,  $r = 0,7$ , excepto la correspondiente a la  $R_{\text{Global}}$  y  $R_{\text{Difusa}}$  que presenta un coeficiente de correlación muy elevado,  $r = 0,99$ . Así pues, dada la radiación global en la BAE se procede a extrapolar la radiación global en el glaciar según la expresión:

$$U_{Global}^{Glaciar} = 81.421 + 0.38 R_{Global}^{BAE}$$

Para obtener la radiación difusa en el glaciar se utiliza la radiación global obtenida por extrapolación según la expresión anterior y se aplica la regresión:

$$U_{Difusa}^{Glaciar} = 6.443 + 0.735 R_{Global}^{Glaciar} = 6.443 + 0.735(81.421 + 0.38 R_{Global}^{BAE})$$

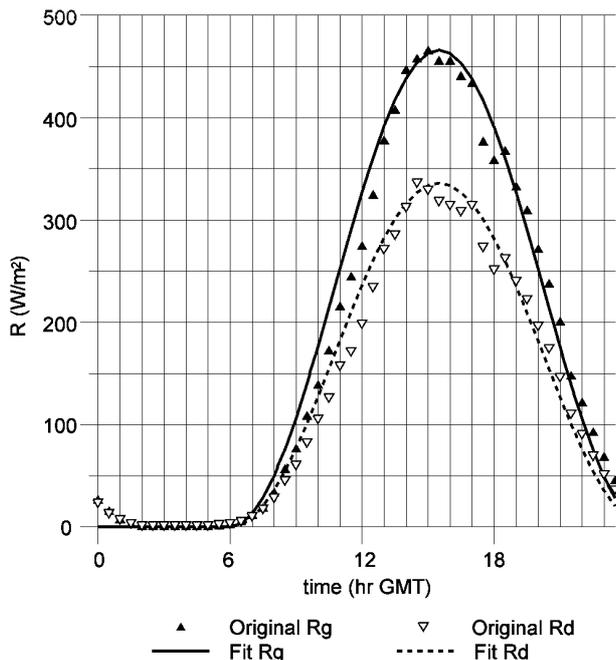


Figura 4. Evolución media diaria de la radiación global (Rg) y difusa (Rd) en el glaciar.

Figure 4. Mean daily evolution of global (Rg) and diffuse (Rd) radiation on the glacier.

por lo que la expresión queda de la forma:

$$R_{Difusa}^{Glaciar} = 392.020 + 0.616 R_{Global}^{BAE}$$

que proporciona un ajuste sensiblemente mejor que el obtenido a partir de la radiación difusa en la BAE, dadas las características orográficas de la estación de la BAE, a sotavento y con obstáculos orográficos.

La figura 7 muestra el mapa escalar de probabilidad para la radiación global en la BAE y la radiación difusa en el glaciar. En ella puede apreciarse una concentración de isolíneas en el intervalo 0-100 W/m<sup>2</sup> que en el caso de la extrapolación de la radiación global llega a ser del 55%, lo que es normal atendiendo que correspondería a registros con radiación muy tenue. A medida que la radiación alcanza valores por encima de los 150 W/m<sup>2</sup> la probabilidad en la zona de regresión disminuye hasta el 25%. Así obtenemos una incertidumbre notablemente elevada que incluyendo el 90 % de los casos es de ±250 W/m<sup>2</sup>

Atendiendo a la metodología aplicada para obtener la radiación difusa en el glaciar, es lógico que la distri-

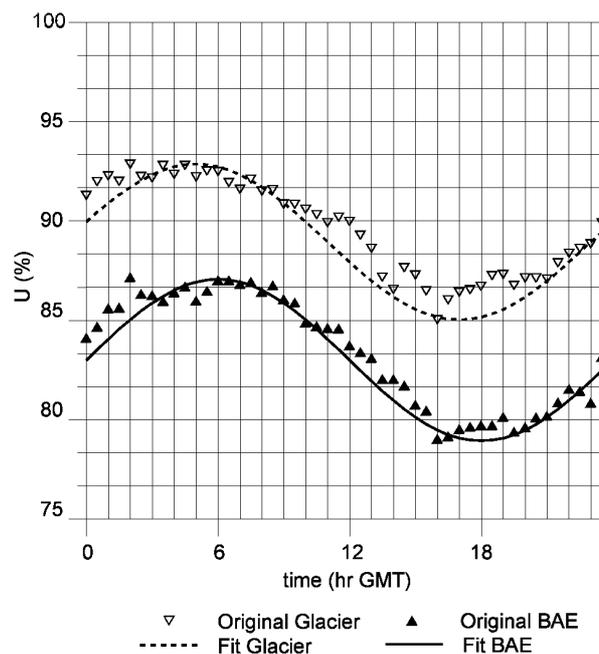


Fig. 5 Evolución media diaria de la humedad relativa.

Fig. 5 Mean daily evolution of relative humidity.

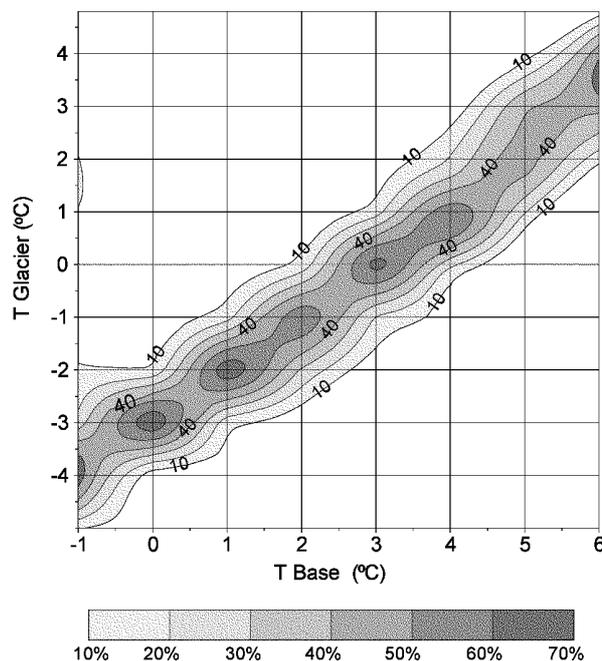


Figura 6. Distribución de probabilidad de la regresión en la temperatura BAE-glaciar.

Figure 6. Probability distribution of BAE-glacier temperature linear regression.

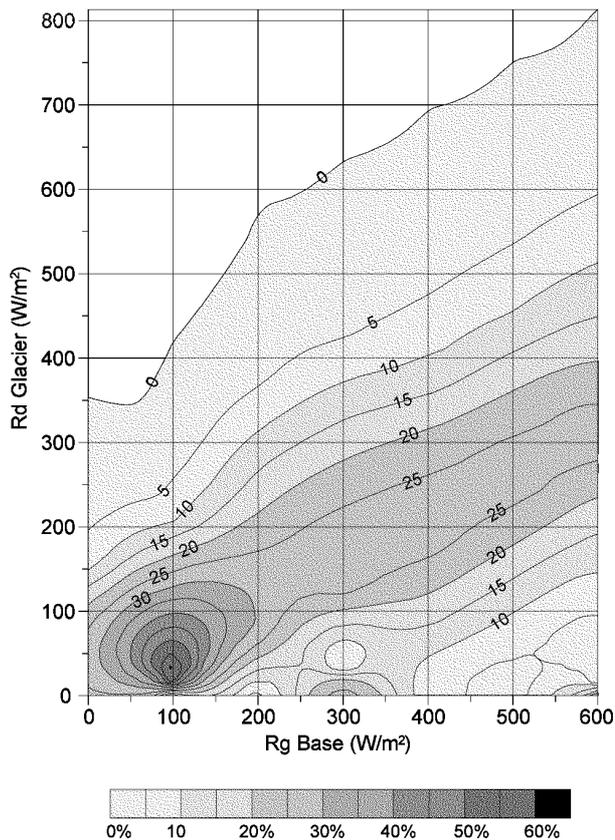


Figura 7. Distribución de probabilidad de la regresión de la radiación global en la BAE (Rg BAE) y la difusa en el glaciar (Rd glaciar)

Figure 7. Probability distribution of linear regression of global radiation at BAE (Rg BAE) and diffuse radiation on the glacier (Rd glacier)

bución de probabilidad sea similar. Así encontramos el intervalo anteriormente citado de 0 - 100 W/m<sup>2</sup> a partir del que la probabilidad baja hasta niveles del 20 %, manteniéndose prácticamente el elevado grado de incertidumbre.

### Régimen de vientos

Dadas las mencionada características orográficas de la BAE, carece de sentido intentar extrapolar datos de viento desde la misma al glaciar. Por tanto tan solo se han tenido en cuenta los datos de viento registrados en el glaciar. Se debe tener en cuenta que los registros son promedios de 30 minutos a partir de otro promedio realizado cada 10 minutos. Por tanto no es de extrañar que el orden de magnitud de las velocidades registradas sea

sensiblemente inferior al que pudiera obtenerse de registros instantáneos.

La figura 8 presenta la rosa de los vientos correspondiente a la campaña 95-96. En ella se puede observar que la orientación predominante pertenece al sector Este siendo la dirección E la que presenta una mayor frecuencia, 27%. Siguen, en este sector, 18% y 14% en las direcciones NE y SE respectivamente. Por otra parte, aparece una frecuencia elevada, 18 % en la dirección SW. El resto de componentes presentan frecuencias prácticamente irrelevantes. Respecto a la velocidad, la componente NE es la que presenta una velocidad media más elevada, 7 m/s, mientras que la velocidad media máxima se ha registrado en la componente E. Atendiendo a los efectos que sobre erosión y transporte tienen las rachas, se han calculado las frecuencias horarias de las rachas continuas superiores a 10 m/s (Vilaplana y Pallás, 1997). Así, tal y como se muestra en la figura 8, la dirección E es la que presenta la racha de mayor duración, 83 h, acaecida a partir del día 15/01/96. Sigue, en orden descendente, la correspondiente al 25/12/95 con una duración de 79 h, con direcciones variables comprendidas en los sectores N y E. El 23/01/96 se producía una racha en direcciones NE-E de 75 h. El resto, salvo la ocurrida el 18/12/95 de 12 h en dirección SW, se dan en la dirección NE.

Estos resultados confirman los obtenidos en el análisis de frecuencias y refuerzan el hecho de que son las componentes del sector E las que predominan en el glaciar.

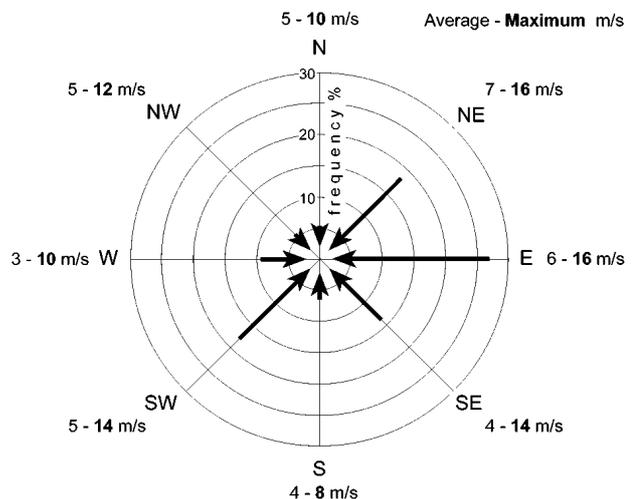


Figura 8. Rosa de los vientos correspondiente a la campaña 95-96 en el glaciar.

Figure 8. Wind direction for 95-96 campaign on the glaciar.

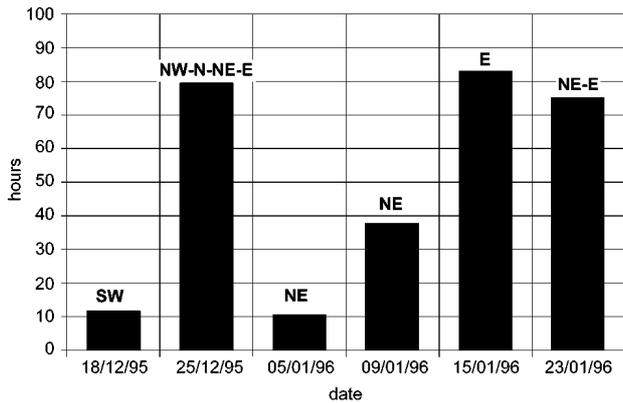


Figura 9. Distribución de frecuencias velocidad-dirección del viento de la campaña 95-96 en el glaciar.

Figure 9. Frequency distribution of wind speed-direction for 95-96 campaign on the glacier.

### Advecciones

Uno de los aspectos importantes del conocimiento simultáneo de los registros de diferentes variables meteorológicas es el estudio de las relaciones que pudieran existir entre ellas. Bien sabido es, sobre todo para los expedicionarios de las campañas antárticas, aunque claro está a nivel cualitativo, la dependencia de la dirección y velocidad del viento con la temperatura, nubosidad y precipitación. De esta última no se dispone de registros. De los octavos de nubosidad tampoco se tienen datos pero se puede realizar cierta aproximación con los registros de radiación.

### Temperatura

La figura 10 muestra la representación de las isoterms, en función de la velocidad y de la dirección del viento, esto es, la representación de la función:

$$T(w_{speed}, w_{direction})$$

Se pueden observar 3 zonas perfectamente delimitadas. La primera comprende el intervalo N-SE (0°-135°) donde se concentran los valores térmicos a partir de la isoterma -2°C hasta la isoterma 2°C. Más concretamente en la dirección NE (45°) se registran las temperaturas más elevadas, prácticamente está incluida en el área de la isoterma 1°C. Por tanto puede decirse que en este intervalo se producen advecciones cálidas. Es destacable que en el subintervalo N-E (0° - 90°) la temperatura pre-

senta una relación lineal directa con la velocidad de viento. Esto es debido a la procedencia de las masas de aire que en esta dirección provienen de latitudes superiores. Sin embargo, en el subintervalo E-SE (90°-135°), la relación es inversamente proporcional, dado que la procedencia de las masas de aire es del continente antártico.

La segunda zona comprende al intervalo SE-W (135°-270°). Es donde se concentran las temperaturas más bajas, desde la isoterma 0 hasta la isoterma -6°C. Es la componente SW la que presenta los mínimos térmicos con una concentración de isoterms entre -4°C y -6°C a velocidades medias superiores a los 7 m/s. Hasta la dirección WSW la relación con la temperatura es inversa, lo cual está provocado, como en los casos anteriores, por la procedencia de las masas de aire, tanto de latitudes superiores como del continente antártico. La componente WSW se encuentra, independientemente de la velocidad, totalmente en la isoterma 2°C.

La última zona destacable es la correspondiente al intervalo W-N que presenta, a grandes rasgos, las mismas características que la primera. Temperaturas altas, comprendidas entre -2°C y 1°C y aumento de la temperatura con la velocidad del viento. Destaca la dirección NNW

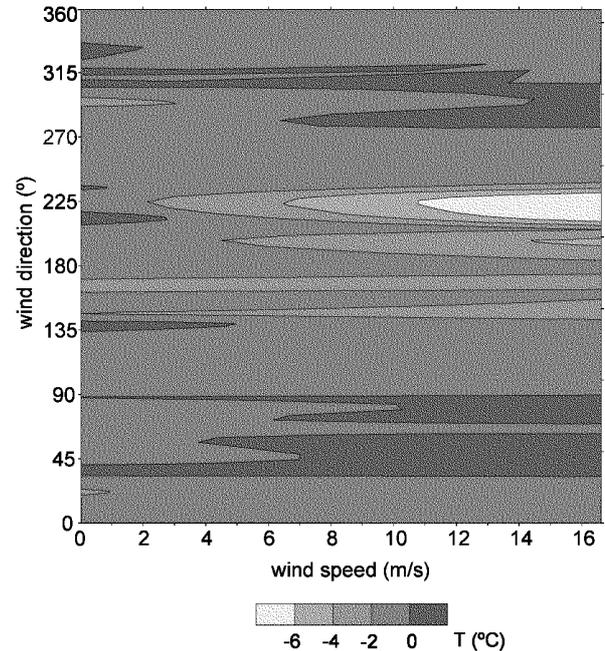


Figura 10. Advección térmica. Campaña 95-96.

Figure 10. Thermal advection. 95-96 campaign.

por la independencia de la temperatura con la velocidad, manteniéndose en la isoterma 0°C.

### Nubosidad

A partir de la diferencia entre los registros simultáneos de la radiación global y de la radiación difusa puede establecerse una aproximación cualitativa del nivel de nubosidad. Escogidos los registros diarios a las 15 h, que corresponden al máximo de la evolución media diaria de la radiación, se ha realizado el mapa escalar correspondiente tomando, al igual que en el apartado anterior, dirección y velocidad del viento en los ejes de ordenadas y abscisas respectivamente, representándose la función (Fig. 11):

$$R(w_{speed}, w_{direction})$$

Así, aunque sea realmente aventurado, puede establecerse una relación subjetiva entre octavos de cielo cubierto y diferencias radiativas (Tabla 3).

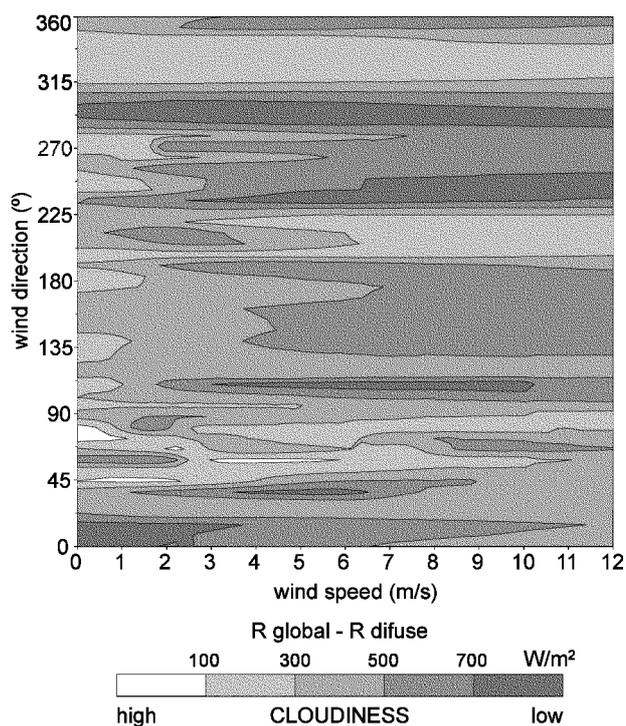


Figura 11. Estimación cualitativa de la advección de nubosidad. Campaña 95-96.

Figure 11. Qualitative estimation of cloud advection. 95-96 campaign.

| Diferencia entre $R_{global} - R$ | Octavos |
|-----------------------------------|---------|
| 0-100                             | 7-8     |
| 100-200                           | 6-7     |
| 200-300                           | 5-6     |
| 300-400                           | 4-5     |
| 400-500                           | 3-4     |
| 500-600                           | 2-3     |
| 600-700                           | 1-2     |
| 700-800                           | 0       |

Tabla 3. Relación entre la diferencia entre la radiación global y la difusa con los octavos de cielo cubierto.

Table 3. Relationship between the difference of global and diffuse radiation and the octas of sky cover.

Salvo la componente NNW (315°), donde queda de manifiesto la práctica ausencia de nubosidad, inferior a 2 octavos, se observa una dependencia de la “nubosidad” con la velocidad del viento. Sin embargo, en ciertas direcciones los comportamientos son inversos. Así, mientras en el intervalo N-NE (0°-45°), SSW-SW (202°-225°) aumenta la nubosidad con la velocidad, en el resto de direcciones la relación entre ambas es inversa. En las direcciones más frecuentes, según la velocidad media correspondiente, se obtienen aproximadamente entre 5-8 octavos de cielo cubierto.

### Análisis comparativo Livingston-Bellingshausen

Con el fin de corroborar los resultados obtenidos en las campañas analizadas y de establecer un carácter más generalizado, se han comparado algunos de los resultados de los apartados anteriores con los obtenidos, aplicando la misma metodología, con los datos de la base rusa Bellingshausen en la isla King George (Fig. 1) (estación de control), simultáneos para las variables temperatura y viento.

Dado que la cadencia de los registros de la estación de control es de 4 horas/día, 0-6-12-18, se han filtrado los datos de las campañas y se han obtenido los registros simultáneos. Respecto a la regresión entre la temperatura en Bellingshausen y Livingston (BAE) se observa una dependencia lineal aceptable,  $r = 0,7$ , siendo la expresión de la recta de ajuste:

$$T_{BAE} = 1.3 + 0.73 T_{BELLINGS}$$

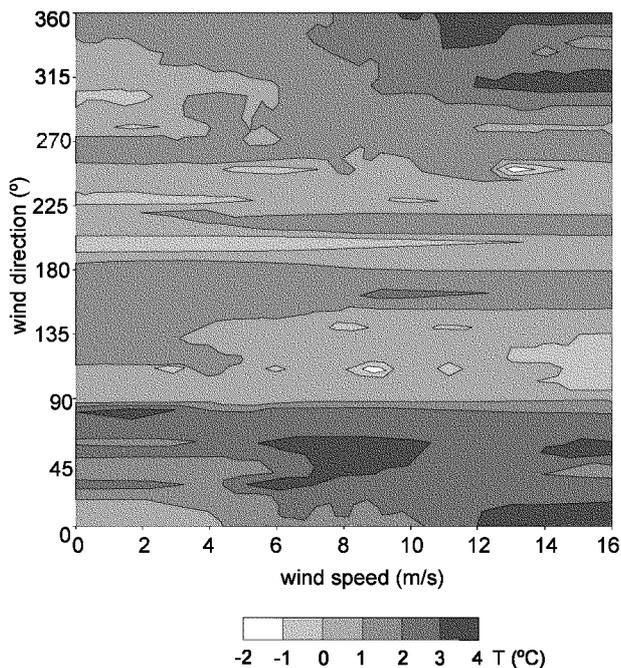


Figura 12. Advección térmica en Bellingshausen. Campañas 88-97.

Figure 12. Thermal advection at Bellingshausen. 88-97 campaigns.

La expresión de la evolución media diaria para la base de control es:

$$T_{BELLINGHS}(h) = 1.3 + 0.7 \sin \frac{(h-12)}{12}$$

También se ha analizado la advección térmica. Al igual que lo expuesto anteriormente se ha representado el mapa escalar correspondiente a la función

$$T(w_{speed}, w_{direction})$$

realizado en esta ocasión con datos registrados entre 1988 y 1997.

Los resultados (Fig. 12) presentan una distribución similar de isotermas a las obtenidas para Livingston, aunque con leves desplazamientos en dirección.

Las advecciones cálidas se obtienen principalmente en el intervalo W-N y N-NE, con isotermas comprendidas entre 1-5°C. A diferencia de los resultados de Livingston, la componente E presenta advecciones frías, entre -5°C y 1°C, localizándose el intervalo de las mismas en E-WSW (90°-247°).

## CONCLUSIONES

Los datos recogidos en la campaña antártica 95-96 han permitido caracterizar los valores meteorológicos de la BAE y del glaciar Johnsons. A partir de la selección de los registros, de su control de calidad y homogeneidad se ha confeccionado una serie homogénea y coherente de registros meteorológicos que constituyen un punto de partida para análisis comparativos de registros futuros.

Las variables temperatura, humedad relativa y radiación han podido modelizarse según una curva simple, a partir de valores medios horarios, en una evolución periódica diaria.

La extrapolación BAE - glaciar Johnsons, de utilidad en las discontinuidades de las series, proporciona buenos resultados en la temperatura y radiación, mientras que en la humedad relativa y en el viento los resultados son desalentadores, influyendo tanto la naturaleza de la variable, como las condiciones locales de los sensores.

Se ha podido generar diagramas de advección térmica y de nubosidad, que permiten establecer situaciones meteorológicas tipo.

El análisis comparativo entre Bellingshausen y Livingston de la de temperatura y de viento, velocidad y dirección, ha permitido corroborar los resultados obtenidos y validar la extrapolación de datos en campañas e incluso meses donde existen discontinuidades en los registros de la BAE.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Miguel Ramos de la Universidad de Alcalá de Henares la cesión de datos completos de sus campañas antárticas y al programa Nacional Antártico por los datos de la estación meteorológica del glaciar Johnsons. Asimismo al British Antarctic Survey por la cesión de los datos de Bellingshausen. El presente trabajo se enmarca en los proyectos de investigación ANT93E 1312 y ANT96-0734 y en el Grup de Processos Geodinàmics Superficials, ref. 3130-UB-06 financiado por 1999SGR-00065.

## BIBLIOGRAFÍA

Alexandersson, A., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, (6), 661-675.

- Petrovic, P., 1998. Deviations of real precision from the expected, Republic Hydrometeorological Institute of Serbia, Belgrade. 323 pp.
- Rodríguez, R., 1995. Análisis de Series Meteorológicas. Evaluación del Cambio Climático. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona, 273 pp.
- Rodríguez, R., Llasat, M.C., Martín-Vide, J., 1996. Revisión de los criterios de homogeneidad aplicados a variables meteorológicas. In J. Juaristi y I. Moro (eds.). Modelos y Sistemas de Información en Geografía, Argi, Bilbao, pp. 98-111.
- Rodríguez, R., Llasat, M.C., 1997. Análisis de las Series de Temperatura de la Base Antártica Arturo Prat. Actas del V simposio español de estudios antárticos. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 325-344.
- Vilaplana, J.M., Pallàs, R., 1997. Características y evolución del manto nivoso en la isla de Livingston. Actas del V simposio español de estudios antárticos. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 279-290.