

Críticas al «Cambio Climático» a partir de la Evolución de la Temperatura en el Atlántico Norte

M.^a Eugenia PÉREZ GONZÁLEZ y M.^a Pilar GARCÍA GONZÁLEZ

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.
Universidad Complutense de Madrid
meperez@ghis.ucm.es

Recibido: 6 marzo 2005

Aceptado: 13 septiembre 2005

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo conocer la evolución de la temperatura del aire en el Atlántico Norte. Para ello, se seleccionan diez series temporales y se analizan durante el período instrumental, que en casi todas las estaciones meteorológicas abarca desde 1865 a 2004. Se quiere evitar en lo posible el efecto urbano en las temperaturas, por lo que se escogen estaciones meteorológicas instaladas en islas pequeñas y/o en latitudes altas. Además, se analizan imágenes de satélite para conocer la localización actual de las estaciones meteorológicas y la influencia del medio. La disparidad de tendencias de las series temporales y la baja correlación entre los datos analizados impiden apoyar la tesis del cambio climático. No obstante, algunas series sí muestran ascensos de temperatura en las últimas décadas, aunque incrementos parciales se repiten con frecuencia en las series temporales de más de un siglo.

Palabras claves: temperatura, cambio climático, Océano Atlántico, estaciones óptimas teledetección.

Some critics to «climatic change» for the evolution of North Atlantic temperatures

ABSTRACT

The aim of this paper is know the evolution of air temperature in the North Atlantic. For it, ten temporary series are selected and they are analyzed during the instrumental period, that in almost all the meteorological stations it goes from 1865 to 2004. It is wanted as far as possible to avoid the urban effect in the temperatures, reason why installed meteorological stations in small islands and/or in high latitudes are chosen. In addition, satellite images are analyzed to know the location the meteorological stations and the influence of environment. The disparity of tendencies of the temporal series and the low correlation between the analyzed data prevent to support the thesis of the climatic change. However, some series show temperature increases in the last decades, although partial increases are repeated frequently in the temporal series of more of a century.

Keywords: temperature, climatic change, The Atlantic Ocean, optimal stations, remote sensing.

1. INTRODUCCIÓN

Las pequeñas islas del océano Atlántico, junto con los territorios de altas latitudes, resultan un escenario óptimo para el estudio de la evolución de la temperatura de la Tierra durante el período instrumental, esto es, desde mediados del siglo XIX para la mayor parte de estaciones meteorológicas. Algunas islas atlánticas tienen series bastante completas, pues suelen estar alejadas de los grandes conflictos bélicos que merman la continuidad en la recogida del dato diario de muchas estaciones meteorológicas. Es también frecuente que su tamaño reducido e insularidad las haya mantenido alejadas del crecimiento industrial y urbano en favor de enclaves turísticos, en los que se ha conservado el medio con alteraciones ambientales mucho más reducidas que en áreas continentales de latitudes similares.

El carácter marítimo de las islas del Atlántico Norte les confiere gran regularidad en los valores anuales de temperatura, evidentemente sujeta a las variaciones naturales de la dinámica atmosférica general, que en ningún océano son simples. Por ello, sus tendencias centrales deberían ser significativas y, seguramente, más válidas que las de estaciones enclavadas en ámbitos urbanos, como son el noventa y cinco por ciento de las series temporales históricas del mundo. En este trabajo se considera el concepto de «tendencia central» de la variable (en este caso la temperatura media anual) a lo largo de varios años, a aquélla en la que se obvian los pequeños cambios interanuales (ascendentes o descendentes) existentes en todos los puntos del globo y sólo se tiene en cuenta la evolución general. Este concepto es similar a la tendencia lineal de una variable, aunque con ésta puede darse el grado representatividad de la recta o pendiente obtenida.

La idoneidad de las estaciones atlánticas para conocer la evolución reciente de la temperatura es todavía más evidente en las series temporales de latitudes altas, pues éstas se localizan en ciudades pequeñas o muy pequeñas, que han experimentado cambios de población notablemente inferiores a los de latitudes más bajas. Además sus economías suelen estar sujetas al sector primario (pesca principalmente) de bajo impacto ambiental, en cuanto al ambiente atmosférico.

Aquí se quiere conocer la tendencia de la temperatura del Atlántico Norte y ver si éstas pueden apoyar o no el afirmadísimo cambio climático. Aunque la mayor parte de autores apoyan la tesis de un calentamiento global para el próximo siglo (García-Olivares, 1990; Mitchell *et al.*, 1995; Balairón, 2000; IPCC, 2001; etc.), también hay voces que expresan serias dudas sobre dicha afirmación (Lindzed, 1990; Jaworowski, 1994; Sanz Donaire, 1999 y 2002; Almarza, 2000, Soon *et al.* 2003; Pérez González, 2005, etc).

Resulta paradójico que el cambio climático sea forzosamente antropoinducido (pues de otro modo no se justificaría la batería de medidas políticas, económicas e incluso militares) y, sin embargo, se quiera minimizar el efecto urbano-industrial sobre la evolución de la temperatura superficial de la Tierra (una variación de 0,5° C respecto a las áreas rurales; IPCC, 2003). Las cifras globales de esta variable arrojan incrementos entre 0,5° y 1° C a lo largo del último siglo, dato que se corrobora o supera en muchísimas ciudades o megalópolis del globo. No obstante, queda la

enorme duda de si la mayor parte de estaciones termométricas del mundo siguen siendo representativas del área circundante o, si ésta, ya totalmente transformada es sólo extrapolable a microclimas urbanos.

Por último, no debe desestimarse la evidente y gran desproporción entre estaciones meteorológicas continentales y oceánicas; teniendo en cuenta que éstos suponen dos tercios de la superficie del planeta, los análisis temporales no deberían considerar parámetros cuantitativos respecto al número de estaciones con una tendencia concreta sino de representatividad espacial y calidad de la misma. Así, la evolución de la temperatura superficial en enclaves del océano, aunque sólo se disponga de pocas estaciones de estudio, da una respuesta cualitativa de gran valor.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se han seleccionado estaciones meteorológicas de la base de datos americana NCDC, (National Climatic Data Center, NOAA), que comprenden el ámbito geográfico del Atlántico Norte. Sólo se han analizado en este trabajo aquéllas que estuviesen localizadas en islas pequeñas y/o poco pobladas. Por ello, se incluyen estaciones de latitudes altas (Groenlandia, Islandia e Islas Faroe); subtropicales (Islas Bermudas, Azores y Madeira) y tropicales (Islas Bahamas y Barbados), (Cuadro 1). Las series han sido ajustadas por Peterson *et al.* (1994 y 1997) y completadas hasta el año 2004.

Cuadro 1: Localización de estaciones termométricas en islas del Océano Atlántico

Nombre estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m)	Población Actual (Hab)	Nº años serie
Groenlandia					
Nuuk	64°10'12"N	51°45'00"	70	13.900	138 (1866-2004)
Angmagssalik	65°36'00"N	37°37'48"	52	1.800	109 (1895-2004)
Egedesminde	68°42'00"N	52°45'00"	41	3.200	54 (1951-2004)
Islandia					
Stykkisholmur	65°04'48"N	22°43'48"	8	1.200	155 (1841-1995)
Islas Faroe					
Thorshavn	62°1'12"N	6°46'12"	55	18.600	133 (1867-2004)
Azores					
Ponta Delgada	37°42'00"	25°42'00"	36	70.000	132 (1865-2002)
Madeira					
Funchal	32°37'48"N	16°54'00"	56	127.000	140 (1862-2002)
Bahamas					
Nassau	25°05'00"N	77°28'12"	7	210.000	147 (1857-2004)
Barbados					
Bridgetown	13°02'03"N	59°28'05"	56	97.000	53 (1951-2004)
Bermudas					
Saint George	32°22'01"N	64°40'48"	6	1.800	64 (1931-1995)

De estas estaciones meteorológicas se ha analizado la evolución temporal de la temperatura media anual a lo largo del período instrumental, que aunque diferente para cada una, suelen comprender desde 1860 hasta 2004. Se han representado los valores anuales en diagramas cartesianos, en los que se han incluido tendencias lineales para los casos en los que éstas son significativas. Además, se han obtenido las medias treintenales normales, esto es, a partir de 1901-1930 en ambos sentidos de la cronología.

Una vez estudiada la variabilidad interanual e interdecadal de las temperaturas medias anuales de cada estación se han correlacionado con las temperaturas medias del invierno y, también se han buscado relaciones en la variabilidad entre las distintas estaciones. Para ello, se aplican los coeficientes de correlación de Pearson y se obtienen los porcentajes de representatividad (R^2).

Por último, se trata de conocer el grado de relación entre el índice de la presión atmosférica a nivel del mar (NAO, North Atlantic Oscillation) y el aquí definido «índice térmico». Este se obtiene a partir de las diferencias térmicas de estaciones localizadas en ambos extremos latitudinales del Atlántico: Stykkisholmur-Ponta Delgada y Nuuk-Nassau. Estas estaciones son las mismas que las utilizadas para medir el índice NAO.

Otro parámetro analizado en este trabajo es la localización de la estación meteorológica, su grado de representatividad del clima regional y tipo de ámbito donde se ubica. Aunque el emplazamiento de la mayor parte de estaciones ha sufrido cambios a lo largo del período instrumental, especialmente las que ahora se encuentran en aeropuertos, resulta de gran utilidad conocer las características del medio físico y urbano en el que se instalan. Así, para conocer la localización actual de las estaciones meteorológicas y la influencia de su entorno en los valores de la temperatura se han utilizado imágenes de los satélites Landsat (cuadro 2).

Cuadro 2: Imágenes Landsat seleccionadas en el estudio

Localización	Satélite	Sensor	Escena	Fecha
Groenlandia (Nuuk)	Landsat 5	TM	007/015	12-8-1987
Islandia (Stykkisholmur)	Landsat 7	ETM+	221/015	19-9-2000
Azores (Ponta Delgada)	Landsat 7	ETM+	215/034	21-4-2001
Madeira (Funchal)	Landsat 7	ETM+	208/037	4-7-1999
Bahamas (Nassau)	Landsat 7	ETM+	013/043	16-5-2001

Para su tratamiento visual, las imágenes se han georreferido a coordenadas UTM y se han hecho diferentes combinaciones de bandas, obteniéndose mejor discriminación visual de las áreas urbanas con las bandas visibles (especialmente la 2 y la 3 correspondientes a los canales espectrales verde y rojo respectivamente) y con la escena pancromática. Las primeras tienen una resolución espacial de 30 m y la pancromática de 15 m.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha estudiado la evolución temporal de la temperatura media del aire en diez estaciones meteorológicas localizadas en islas del Océano Atlántico, con el fin de conocer si existe alguna tendencia que corrobore o anule la tesis del cambio climático global.

GROENLANDIA

La gran isla danesa tiene tres series temporales de temperatura media anual localizadas en las dos fachadas litorales, una en la oriental (Angmagssalik) y dos en la occidental (Nuuk y Egedesminde, ésta en el Círculo Polar Ártico), según se observa en el cuadro 2. Cabe destacar que en las ciudades suroccidentales existen más registros y son más largos. Sólo dos de ellas, la capital, Nuuk, y Egedesminde superan la centena de años. La comparación de estas dos series revelan gran similitud en las medias anuales de temperatura, a excepción del año 2003, en que los valores excepcionalmente altos de los meses de primavera hacen ascender considerablemente la media anual, con el resultado de un máximo histórico, valor que no continúa en el año 2004. Salvo este dato puntual, la serie es muy parecida por lo que se ha seleccionado la más larga, pues a mayor registro puntual mejor se conocerán las tendencias centrales de las series y se interpretarán los valores extremos (Fig. 1b).

SW de Groenlandia

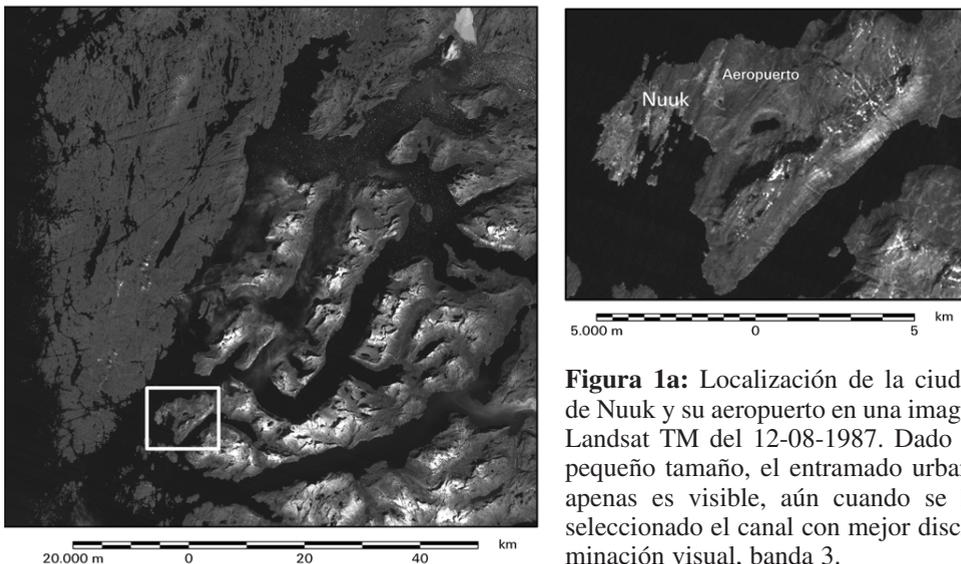
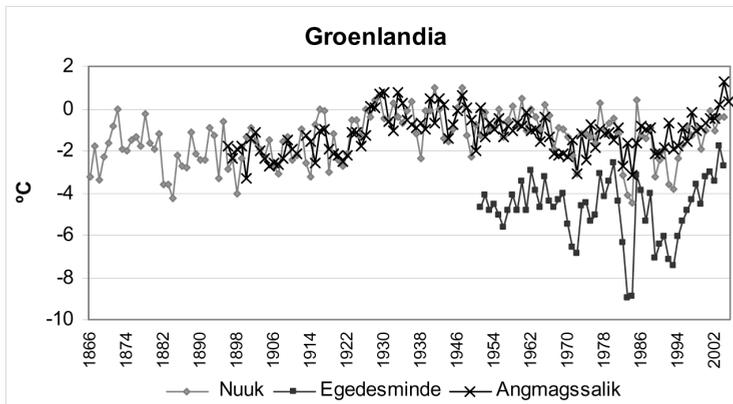


Figura 1a: Localización de la ciudad de Nuuk y su aeropuerto en una imagen Landsat TM del 12-08-1987. Dado su pequeño tamaño, el entramado urbano apenas es visible, aún cuando se ha seleccionado el canal con mejor discriminación visual, banda 3.

Figura 1b: Temperatura media anual en estaciones meteorológicas costeras de Groenlandia

La serie temporal de la ciudad de Nuuk apenas tiene interrupciones en los 138 años de registro. En la actualidad la estación meteorológica está situada en el aeropuerto, a unos 10 km al NE de la ciudad y, a pesar de haber sufrido cambios en su emplazamiento, la influencia urbana no debe ser significativa. Aunque ha doblado el número de habitantes desde los años cincuenta del siglo XX, la población actual apenas supera los 13.500 habitantes, por lo que sigue siendo una ciudad pequeña. Además esta ciudad ocupa una escasa extensión, apenas visible en la imagen de satélite. En la figura 1a se observa su emplazamiento junto a un fiordo, con una densa cobertura vegetal. El entramado urbano y aeroportuario se discrimina mejor en la banda 3 (canal rojo) o en las combinaciones de bandas 3-2-1 (color natural) y 5-3-2 (falso color). Por tanto, su emplazamiento en un ámbito poco transformado por la acción antrópica puede considerarse óptimo para el estudio de la evolución de la temperatura superficial, por estar alejado de ámbitos urbanos y/o industriales, sin apenas transformación del medio, salvo las pequeñas instalaciones aeroportuarias de la capital. Además, la explotación industrial en la ciudad es fundamentalmente del sector primario (pesca principalmente), industria de escaso impacto en la atmósfera, en comparación con otros sectores industriales.

La temperatura media de la capital de Groenlandia suele ser inferior a 0° C (Fig. 1c), con valores de centralidad que oscilan entre $-2,31^{\circ}$ C de moda a $-1,29^{\circ}$ C de mediana. Sin embargo, el período más cálido se produjo entre 1928 y 1965, en el que se registraron temperaturas medias anuales positivas en un tercio de los años. Desde entonces sólo dos años (1977 y 1985) han superado ese umbral. Por ello, el período treintenal con temperaturas medias más elevadas fue 1931-1960, superando en $1,22^{\circ}$ C a la media de la treintena más reciente, 1971-2000, (Fig. 1d). A la luz de los datos de toda la serie temporal, las temperaturas anuales de la capital groenlandesa no pueden apoyar la tesis de un calentamiento global, hecho que parece repetirse en muchas estaciones meteorológicas de ámbitos con poca presión antrópica sobre el medio natural.

Figura 1c: Evolución temporal de la temperatura media anual en la capital de Groenlandia

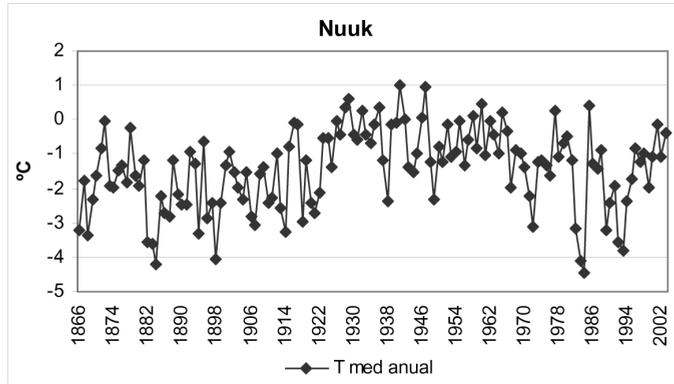
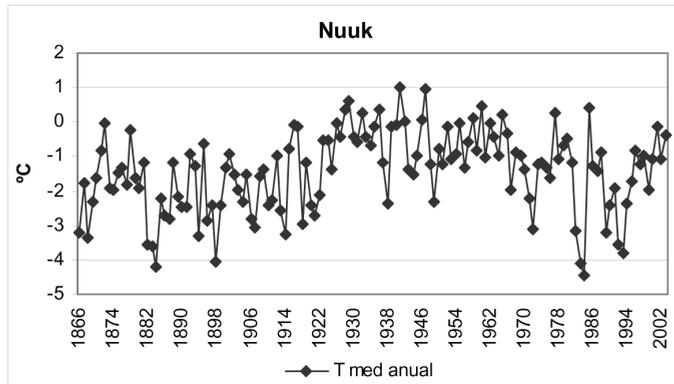


Figura 1d: Medias treintenales de Nuuk



ISLANDIA

Se ha escogido la serie de Stykkisholmur, ciudad litoral localizada a 210 km al norte de Reykiavik, por disponer del mayor registro temporal del país y, además, porque apenas presenta influencia antrópica. La imagen Landsat ETM+ permite observar el emplazamiento costero de la estación meteorológica en el extremo norte de la ciudad (Fig. 2 a). El núcleo urbano con 1.200 habitantes destaca en tonos muy claros en la banda 3 (canal rojo). También se distingue con nitidez en las combinación en falso color 5-4-3, en la que además destacan las infraestructuras viarias.

Esta imagen permite observar que la ciudad tiene un poblamiento concentrado, expuesto a la influencia marina y con un entorno rico en biomasa vegetal. En el sureste y suroeste de la ciudad, a unos 30 Km, se localizan varios volcanes que pueden influir, como en otras áreas, en las oscilaciones temporales de la temperatura (Jacoby et al, 1989; Barriendos y Gómez, 1997; Prohom, 2001).

Figura 2a: Imagen ETM del 19-09-2000, banda 3. Destaca en tonos claros la ciudad costera de Stykkisholmur de 1.200 habitantes, en la que se localiza la estación meteorológica

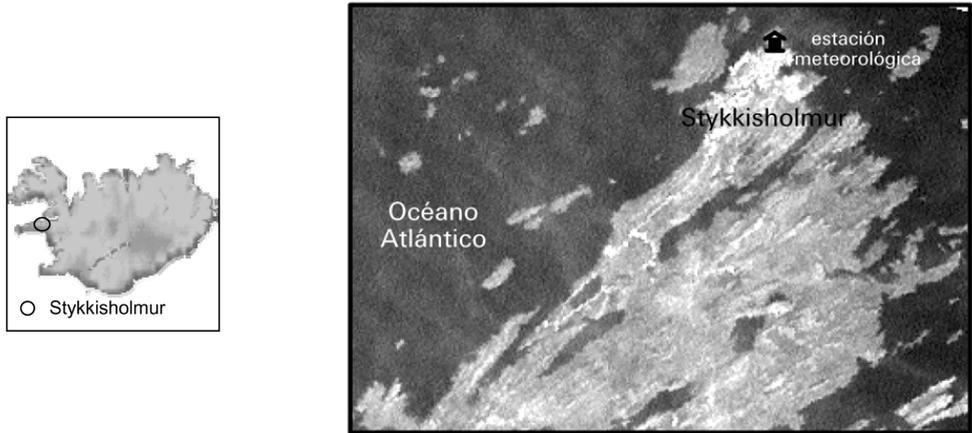
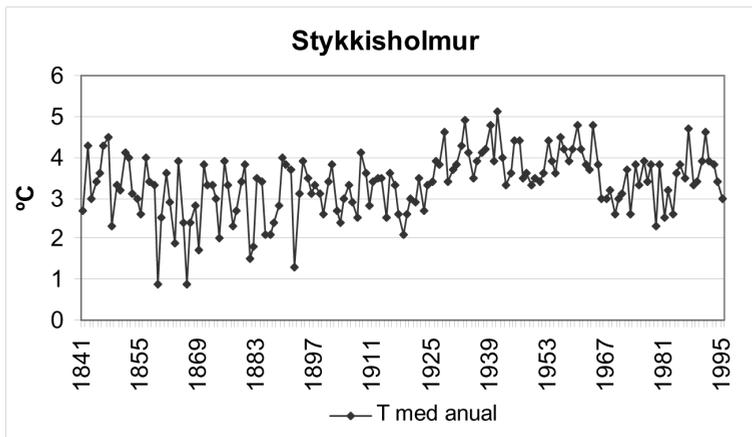


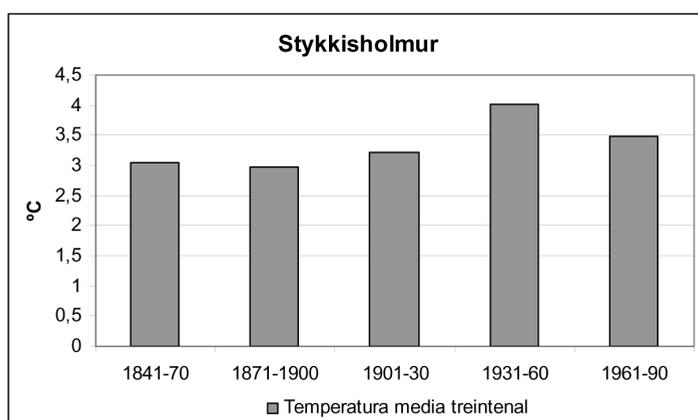
Figura 2b: Evolución temporal de la temperatura media anual en Stykkisholmur



La evolución de la temperatura media anual en 155 años refleja valores sensiblemente más bajos en la primera mitad del período, de 1841 a 1925, y desde ese

año hasta 1995 (fin de la serie), las medias anuales han ascendido casi 1° C (Fig. 2 b). No obstante, el período más cálido es el comprendido entre 1928 y 1965, en el que se registran los cinco valores más altos de toda la serie temporal (en 1933, 1939, 1941 1960 y 1964). Llama la atención la similitud de este ciclo con las estaciones de Groenlandia. Además, exceptuando los años 1987 y 1991, las temperaturas medias anuales entre 1966 y 1995 son muy similares a las registradas en las dos primeras décadas del siglo XX. Además, las medias treintenaes muestran nuevamente al período 1931-1960 como el más cálido del registro histórico, con más de 0,5° C respecto a la treintena 1961-1990 (Fig. 2c).

Figura 2c: Temperaturas medias treintenaes en Stykkisholmur



Por tanto, esta estación que mantiene tendencias anuales muy similares a las recogidas en Reykiavik (Pérez González, 2005), aunque ésta con una serie más corta (sólo desde 1901), tampoco ofrece datos que puedan apoyar el incremento continuado de las temperaturas, pues tras períodos cálidos bastante largos, más de treinta años, las medias anuales experimentaron una sensible reducción.

ISLAS FAROE

Las islas danesas Faroe, tienen una serie termométrica bastante extensa, desde 1867 a la actualidad, en la que sólo faltan los registros comprendidos entre 1925-1930, (Fig. 3a). La tendencia lineal de la temperatura anual es muy estable, aunque no es apenas representativa estadísticamente ($R^2= 0,002$). Por el contrario, la evolución temporal de temperatura media anual refleja dos períodos cálidos, 1882-1914 y 1931-1964, alejados de la actualidad, sin que ninguno de ellos tuviese continuidad temporal progresiva, como quiere apuntarse en la tesis sobre el calentamiento global. Así, el máximo histórico se da en 1933 y el mínimo en 1979, sin que tam-

poco se aprecien cambios en la variabilidad interanual; hecho que sí ocurre en muchas estaciones claramente urbanas.

Figura 3a: Evolución temporal de la temperatura en la estación meteorológica de Thorshavn y tendencia lineal

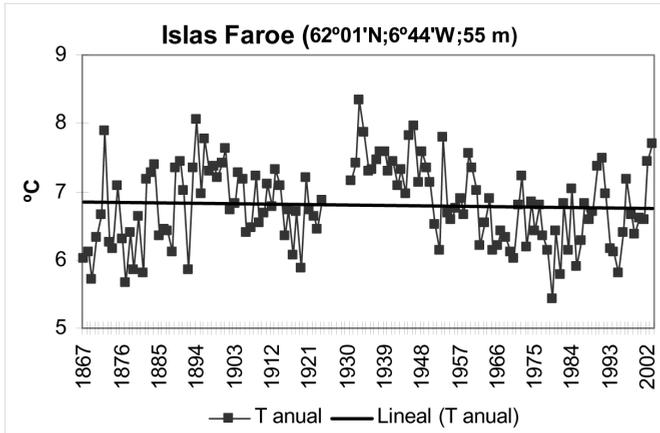
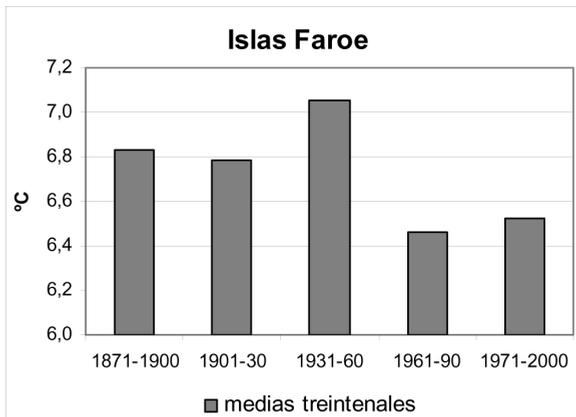


Figura 3b: Medias treintenales en Thorshavn en el período instrumental



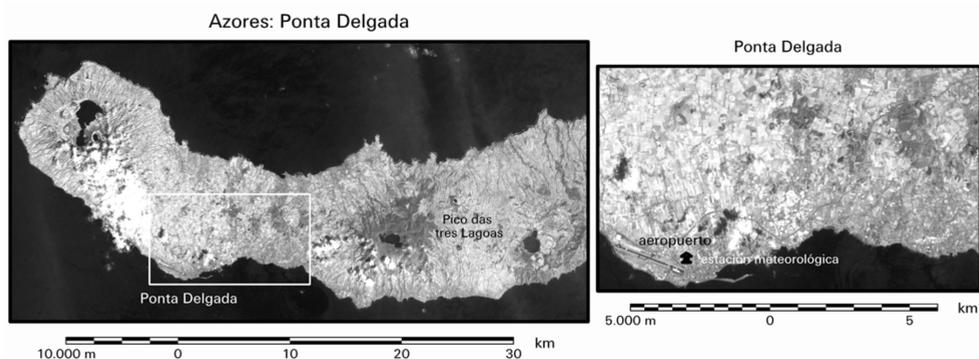
La figura 3b muestra los valores treintenales de los períodos normales (al que se añade y solapa el más reciente: 1971-2000). En ella destacan temperaturas superiores a las actuales en los períodos previos a 1961. Así, la treintena 1931-60 resulta la más cálida de la serie, 1° C superior a la treintena 1961-90 y 0,5° C por encima del valor del período 1971-2000. Esto está condicionado por las temperaturas medias

elevadas de algunos años de la década de los noventa (1990, 91, 92 y 97), pero en ningún caso corresponden a los valores máximos de la serie temporal. También cabe mencionar que el repunte termométrico del año 2003 ha sido superado en la serie histórica en numerosas ocasiones y en épocas contrastadas (1872, 1894, 1933, 1946, 1953, etc.).

AZORES

La estación termométrica más extensa se refiere a la isla de Ponta Delgada y se sitúa en la ciudad del mismo nombre, que tiene una población entorno a 70.000 habitantes. La imagen de satélite muestra una ciudad con una densidad alta de edificación, situada en el área costera más llana, en la falda sur de las formaciones volcánicas que constituyen el eje central de la isla. La combinación en color natural (bandas 3-2-1) es la que ofrece una mejor discriminación del área urbanizada, aunque se distingue de forma más nítida en la imagen pancromática, que tiene mayor resolución espacial (Fig. 4a). La estación meteorológica se localiza en la actualidad, junto a las instalaciones del aeropuerto, muy próxima al núcleo urbano, por lo que a lo largo de toda la serie temporal apenas habrá variado su emplazamiento. El resto de la isla mantiene una elevada cobertura vegetal, con influencia antrópica escasa. Existe, pues, un gran contraste entre el interior, con un medio natural mejor conservado y las llanuras costeras fuertemente antropizadas. Habría que disponer de datos con mayor resolución para saber en qué medida el clima urbano afecta al clima regional.

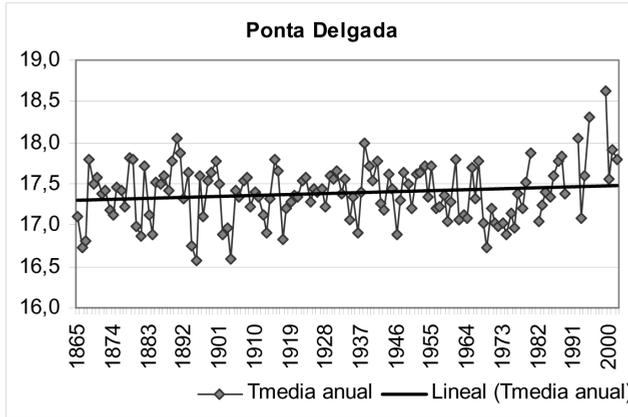
Figura 4a: Imagen pancromática del satélite Landsat ETM (21-04-2001) de Azores y detalle de la localización de la estación meteorológica en las proximidades del aeropuerto de Ponta Delgada



La distribución de los datos anuales muestra una serie muy uniforme (con escasa variabilidad interanual), alterada con dos máximos recientes, en 1995 y 1999. Sin

embargo, los valores en los inicios del siglo XXI vuelven a marcar datos normales (Fig. 4b).

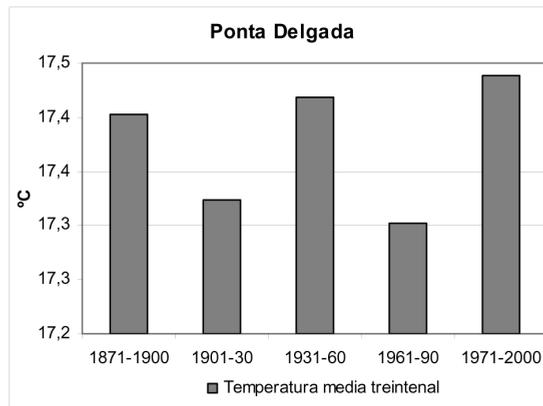
Figura 4b: Evolución temporal de la temperatura en la estación meteorológica de Ponta Delgada y tendencia lineal



Atendiendo a la recta de regresión lineal la tendencia central es ligeramente ascendente, pero al igual que la serie anterior no es representativa, pues su valor de R^2 es de 0,02.

Al observar el gráfico de medias treintenales (Fig. 4 c) destaca el período 1961-90 por ser el más frío de los existentes. En estos años se produjo un periodo decenal anormalmente frío, entre los años 1968-1978, que condiciona el valor de la treintena. Del mismo modo, el período más cálido, 1971-2000, es debido a los valores máximos de los años noventa, aunque la media sólo difiere 0,02° C de la misma del período 1931-60 y 0,04° C del correspondiente a 1871-1900.

Figura 4c: Media treintenales en Ponta Delgada en el período instrumental



MADEIRA

La serie termométrica seleccionada se localiza en Funchal, capital de la isla. Esta serie tiene registros desde 1865 a 2004. Sin embargo, cabe destacar que el periodo analizado corresponde a dos series diferentes: una desde 1865 a 1991, y la otra desde 1987 a 2004. Los años que coinciden ambas series, 1987-1991 muestran una gran similitud en sus registros.

La figura 5a muestra la localización de la estación meteorológica en la imagen Landsat ETM del verano de 1999. Las bandas que mejor permiten conocer la extensión y densidad del área urbana son la 2 (canal verde del espectro visible) y la pancromática; en ésta destaca en tonos muy claros la ciudad de Funchal, que se extiende desde el litoral hasta media ladera, ocupando incluso parte de las superficies de glacis. En los canales térmicos del satélite (bandas 6 y 8) se puede medir el gran contraste de temperatura entre las áreas urbanizadas (costa sudeste) y la vertiente meridional de gran parte de la isla (con suelos muy erosionados), con temperaturas más altas y, la mitad norte de la isla, con menos alteraciones en su cubierta vegetal (incluyendo formaciones densas de laurisilva) y, por tanto, con temperatura superficial más baja.

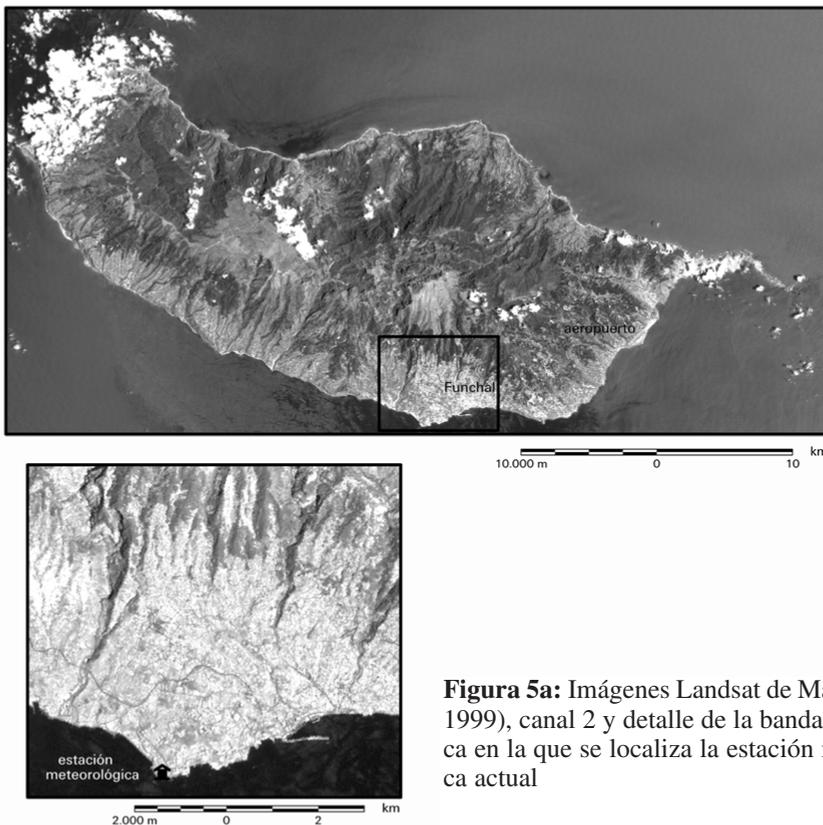


Figura 5a: Imágenes Landsat de Madeira (4-07-1999), canal 2 y detalle de la banda pancromática en la que se localiza la estación meteorológica actual

Pese a la problemática de la serie temporal de Funchal, las tendencias parciales y la global son ascendentes, con un incremento notable en los últimos treinta años (Fig. 5b). Por ello, el gráfico de temperaturas treintenales presenta el período 1971-2000 como el más cálido con un ascenso de los valores medios respecto al siglo XIX de 0,5° C (Fig. 5c).

Figura 5b: Evolución temporal de la temperatura en la estación meteorológica de Funchal

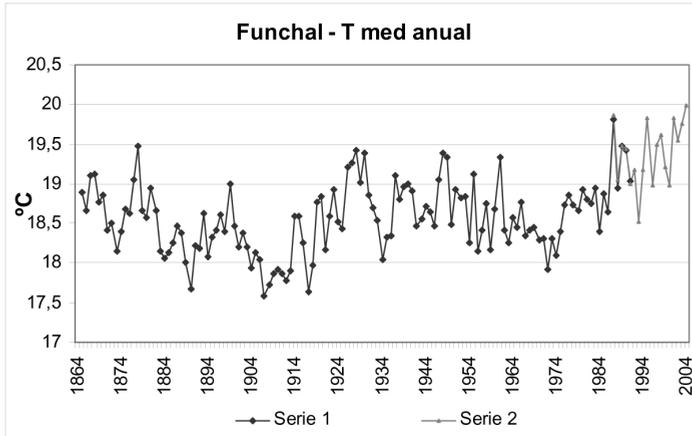
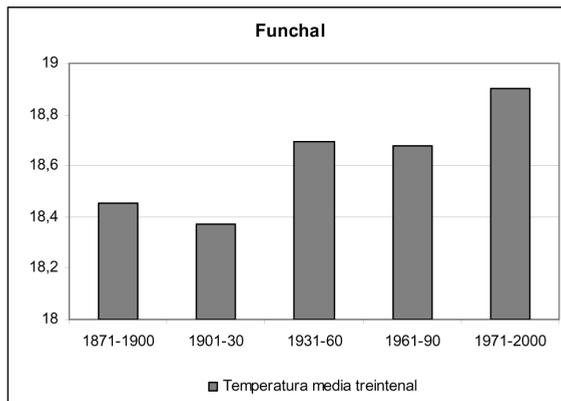


Figura 5c: Medias treintenales



BAHAMAS

La serie termométrica abarca desde 1867 hasta 2004. La estación meteorológica actual se localiza en la costa norte de la isla, a unos 5 km del aeropuerto y al oeste del centro de la ciudad de Nassau, con 210.000 habitantes (fig. 6 a y 6 b). Su posición litoral, alejada de la capital, hace pensar que la influencia del microclima urbano sea pequeña. De hecho, en las imágenes de las bandas térmicas (canales 6 y 8), todo el área urbanizada, mitad este de la isla, tiene valores más elevados de temperatura superficial, mientras que el sector en el que se localiza la estación, rodeado de una laguna y de vegetación natural, tiene valores más bajos, aún cuando existen edificaciones dispersas.

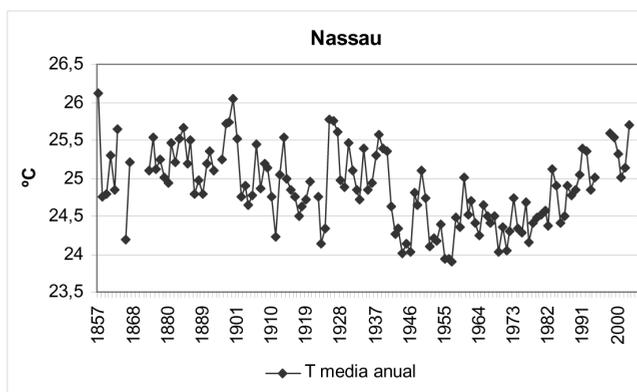
Figura 6a: Imagen Landsat ETM (16-03-2002) de Nassau, banda 2.



Figura 6b: Detalle de la ciudad de Nassau y localización de la estación meteorológica actual. Imagen EarthSat, 2005

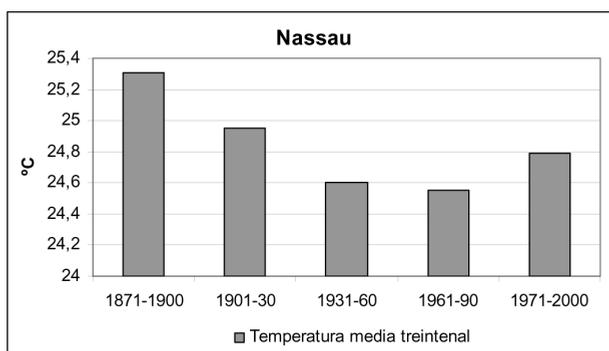
La evolución temporal de la temperatura anual a lo largo de los últimos 141 años muestra elevada variabilidad interanual, sólo interrumpida por un largo período de valores bajos comprendido desde los primeros años cuarenta hasta mediados de los años ochenta. Desde entonces la tendencia central es ascendente, aunque las temperaturas anuales son muy similares a las de los años 20-40 del siglo XX. Los valores extremos de la serie se producen en 1857 y 1900 (máximas) y el mínimo en 1957 (fig. 6c).

Figura 6c: Evolución temporal de la temperatura en la estación meteorológica de Nassau



En cuanto a las temperaturas medias treintenales destaca el descenso acusado desde el primer período, 1871-1900 (25,3° C) al cuarto, 1961-1990 (24,5° C), siendo éste el mínimo registrado. La media más reciente, 1971-2000, no alcanza los valores de las primeras treintenas, por lo que en los últimos cien años se ha producido un descenso térmico de 0,5° C (fig. 6d).

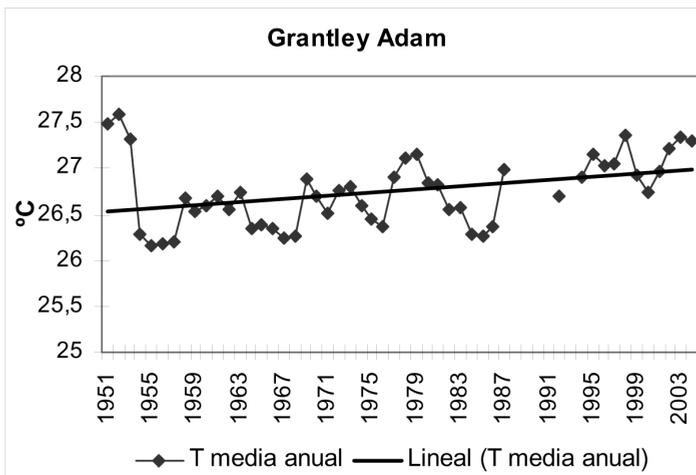
Figura 6d: Medias treintenales



BARBADOS

La serie temporal de temperatura anual está localizada en el aeropuerto de Grantley Adam, situado próximo a la capital, Bridgetown. Debe destacarse que sólo se dispone del período 1951-2004, por lo que la tendencia central está limitada a estos años. En la figura 7 destaca una evolución ascendente de la temperatura media anual, en la que cabe puntualizar los primeros años de la serie (1951-1953) con valores tan elevados como los actuales (2003 y 2004). Al comparar las tendencias de las estaciones caribeñas (Barbados y Bahamas) para el citado período puede afirmarse un alto grado de similitud, que no de correlación estadística. Así, el coeficiente de correlación de Pearson entre ambas estaciones (de 1951 a 2004) es de 0,43. No obstante, los valores anteriores a estos años de la estación de Bahamas, con mayor registro temporal, no muestran una tendencia creciente desde el principio de la serie.

Figura 7: Evolución temporal de la temperatura en la estación meteorológica de Grantley Adam, Barbados

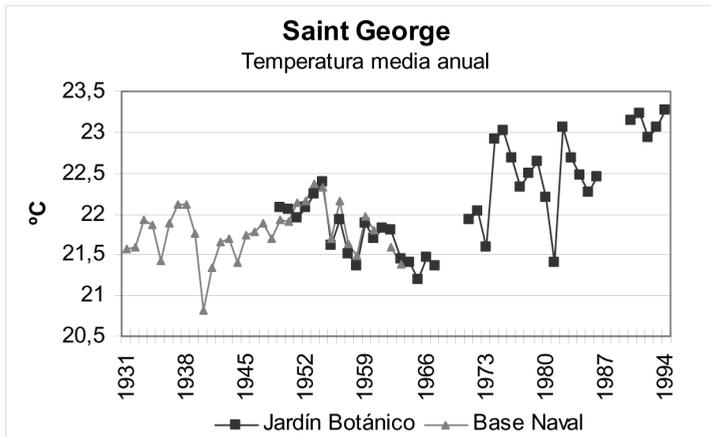


BERMUDAS

La estación de Bermudas está constituida por dos series parciales, instaladas en las proximidades de la ciudad de Saint George; una en el Jardín Botánico (1931-1963) y, otra en la base Naval (1949-1994), ambas próximas entre sí. Los años coincidentes (1949-1963) ofrecen valores muy similares entre las dos series, por lo que puede interpretarse como un mismo registro. La figura 8 refleja amplias oscilaciones periódicas de los valores anuales de temperatura entre los años 1931 y 1967, con una tendencia central estable. La gran variabilidad interanual se mantiene en los años posteriores, aunque con valores notablemente más altos entre 1971-1986, ten-

dencia ascendente que se mantiene hasta la actualidad. El incremento térmico a largo del período es de casi 2° C.

Figura 8: Bermudas, evolución temporal de la temperatura media anual



RELACIONES DE LA EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ENTRE ESTACIONES DEL ATLÁNTICO NORTE

Una vez analizados los datos de temperatura de forma independiente para cada una de las estaciones meteorológicas se ha tratado de buscar similitudes o tendencias entre ellas. Así, se han aplicado coeficientes de correlación para la media anual y la media del invierno, pues es ésta estación la que se utiliza para calcular uno de los índices de presión del Atlántico Norte (NAO).

Las correlaciones entre la temperatura media anual de las estaciones atlánticas analizadas a lo largo del período instrumental arroja escasos resultados sobre tendencias globales de este parámetro para el conjunto del Atlántico Norte. Los valores de la correlación de Pearson y el porcentaje de representatividad (R^2) están recogidos en el cuadro 3.

En este cuadro sólo muestran relación las estaciones de latitudes altas y próximas entre sí, como es el caso de las estaciones de la fachada occidental de Groenlandia, Nuuk y Egedesminde, (C.C.= 0,89; $R^2=78,67\%$) y, entre la fachada oriental de la gran isla danesa e Islandia (C.C.= 0,72; $R^2=51,59\%$ entre Angmagssalik y Stykkisholmur, separadas unos 660 km). Sin embargo, las correlaciones son notablemente inferiores ($< 0,58$) entre estaciones de similar latitud y misma fachada atlántica, algo más alejadas entre sí, como es el caso de Stykkisholmur-Faroe (unos 800 km) o Ponta Delgada-Funchal (950 km aproximadamente). Por último, a excepción de Groenlandia, las correlaciones son insignificantes entre estaciones localiza-

das a igual latitud, pero en ambas fachas atlánticas (Nassau-Ponta Delgada y Nuuk-Stykkisholmur) o en la misma fachada pero localizados en ambos extremos latitudinales, (Nuuk-Nassau y Stykkisholmur-Funchal o Ponta Delgada). Estos últimos ejemplos son los que reflejan los valores de correlación más bajos, por lo que queda de manifiesto la escasa relación entre la variabilidad temporal de unas estaciones meteorológicas y otras, al menos en cuanto a la temperatura anual se refiere, ya que no llega a explicar el 15 % de su variabilidad temporal.

Cuadro 3: Correlaciones de la evolución temporal de la temperatura media anual en estaciones del Atlántico Norte.

Área geográfica	Estaciones	C. C.	R ² (%)
Estaciones de similar latitud y misma fachada atlántica	Nuuk-Egedesminde	0,89	78,67
	Angmagssalik-Stykkisholmur	0,72	51,59
	Stykkisholmur-Faroe	0,57	32,79
	Ponta Delgada-Funchal	0,43	18,66
Estaciones de similar altitud y distinta fachada atlántica	Nuuk-Angmagssalik	0,62	39,22
	Nuuk- Stykkisholmur	0,36	13,00
	Nuuk-Faroe	-0,01	0,01
	Nassau-Ponta Delgada	0,17	2,89
Estaciones de la misma fachada atlántica y distinta latitud	Nassau-Funchal	0,16	2,64
	Nuuk-Nassau	-0,24	6,23
	Stykkisholmur=Ponta Delgada	0,17	2,84
	Stykkisholmur=Funchal	0,13	1,75

Dada la escasa relación encontrada con la temperatura anual, se han correlacionado también los valores de temperatura media del invierno entre las principales estaciones del Atlántico Norte y los resultados se recogen en el cuadro 4. Se prioriza el período invernal sobre el resto de estaciones, pues es el período escogido para calcular las oscilaciones de la presión atmosférica a lo largo del citado océano (Hurrell, 1995 y 1997; Hurrell *et al.*, 2003; Esteban-Parra *et al.*, 2003).

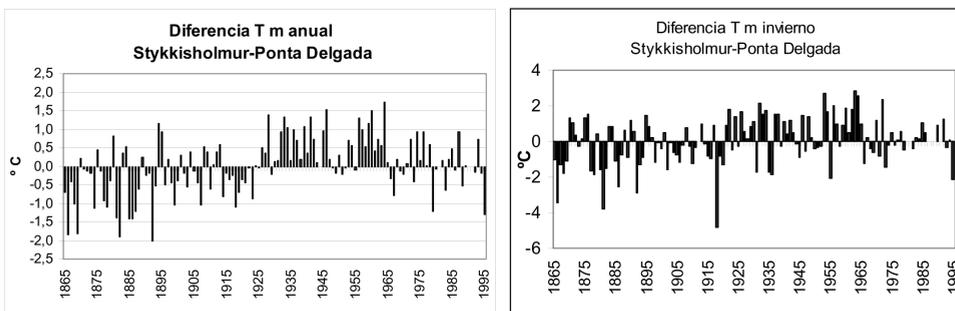
En el cuadro 4 destaca la elevada relación entre la temperatura media anual y la media del invierno en casi todas las estaciones analizadas, especialmente en Nuuk, Nassau y Funchal (con coeficientes de correlación entre 0,86 y 0,84). Por ello, es muy frecuente que los años con inviernos extremos («cálidos» o «fríos»), coincidan con los extremos en la temperatura media anual. No obstante, siguen sin tener relación estadística alguna las temperaturas medias invernales de estaciones con latitudes contrastadas: Stykkisholmur-Ponta Delgada o Nuuk-Nassau (con coeficientes de correlación inferiores a 0,40), en los que no llegan a explicarse el 15 % de la variabilidad interanual.

Cuadro 4: Correlaciones de la evolución temporal de la temperatura media invernal (dic-ene-feb) en estaciones del Atlántico Norte

Estaciones	C. C.	R ² (%)
<i>Temperatura media anual y media del invierno</i>		
Agmagssalik	0,76	58,85
Nuuk	0,86	74,40
Stykkisholmur	0,71	50,07
Nassau	0,84	70,60
Ponta Delgada	0,62	39,01
Funchal	0,85	71,76
<i>Temperatura media del invierno entre estaciones de latitudes contrastadas</i>		
Nuuk-Nassau	-0,39	15,64
Stykkisholmur-Ponta Delgada	-0,10	1,06
Stykkisholmur-Funchal	0,10	1,02

RELACIONES ENTRE EL INDICE NAO (NORTH ATLANTIC OSCILATION) Y LA TEMPERATURA MEDIA

Se ha tratado de conocer si existe alguna relación entre el índice NAO y la temperatura de las estaciones oceánicas analizadas. Para ello, a partir de los datos térmicos de las mismas estaciones que se utilizan para la obtención de los índices NAO (anuales o del período invernal), Stykkisholmur en Islandia y Ponta Delgada en Azores, se calcula el índice térmico. Aquí se ha denominado «índice térmico» al obtenido mediante la diferencia de la temperatura (anual e invernal) entre las dos estaciones atlánticas mencionadas.

Figura 9: Índices térmicos anual e invernal del Atlántico Norte

El índice térmico anual e invernal se recoge en la figura 9. En él, se advierte el fuerte peso de las temperaturas de la estación polar frente a la subtropical. Esto es lógico, pues la variabilidad térmica interanual de Islandia es muy superior a la regis-

trada en las islas Azores. Así, la diferencia de temperatura entre estaciones del Atlántico Norte dan como resultado valores positivos cuando las temperaturas en latitudes altas son «cálidas» o «muy cálidas» (superior a la media), y negativo en los años fríos o muy fríos de la misma latitud (inferior a la media).

Por último, sorprende la escasa correlación entre los índices de presión atmosférica (NAO) y los térmicos, tanto para los valores anuales (C.C. = -0,006; $R^2=0,00003$), como para los del invierno (C.C.= -0,03; $R^2=0,09$).

4. CONCLUSIONES

La evolución temporal de la temperatura media del aire en latitudes altas del océano Atlántico Norte invalida la tesis sobre el cambio climático. En estas estaciones el período más cálido ha sido 1931-1960, sin que tampoco se registren valores máximos anuales recientes.

En latitudes subtropicales no hay un comportamiento homogéneo de las temperaturas; mientras que en Madeira se produce un ascenso de 0,5° C en el último siglo, en Azores con la excepción de 1995 y 1999, la tendencia central es muy estable.

Considerando sólo las últimas décadas sí se advierte un incremento térmico en las islas del Caribe y en Bermudas. No obstante, el análisis de la temperatura en las Bahamas desde mediados del siglo XIX minimiza este efecto, pues en su conjunto las temperaturas descienden 0,5° C.

Al correlacionar todas las series de temperatura entre sí se pone de manifiesto la escasa relación entre la variabilidad temporal de unas estaciones meteorológicas y otras, al menos en cuanto a la temperatura anual se refiere, ya que no llega a explicar el 20% de su variabilidad temporal.

Por último, dada la disparidad de tendencias parciales y la escasa correlación entre diferentes ámbitos del Océano Atlántico resulta difícil afirmar un cambio climático global.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMARZA MATA, C. (2000): Variaciones climáticas en España. Época instrumental. En: Balairón, J. (coord.): *El Cambio Climático*, El Campo, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, nº 137: 69-86.
- BALAIRÓN, L. (2000): Las causas del cambio climático. En: Balairón, J. (coord.): *El Cambio Climático*, El Campo, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, nº 137: 89-110.
- BARRIENDOS, M. y GÓMEZ, L. (1997): Análisis de la incidencia volcánica en las temperaturas medias mensuales de Barcelona (ss. XVIII-XX). En: Martín Vide, J. (Ed) *Avances en climatología histórica en España*. Oikos Tau, 71-90.
- ESTEBAN-PARRA M. J; POZO-VÁZQUEZ D; CASTRO-DÍEZ y TRIGO R. M. (2003): NAO influence on maximum and minimum temperature of the Iberian Peninsula. En *Proceedings «14th Symposium on Global Change and Climate variations»*, American Meteorological Society, U.S.A.

- GARCÍA-OLIVARES, A. (1990): *Cambio climático, evidencias, modelos y perspectivas*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Inst. de Protección Radiológica y Medio Ambiente (IPRYMA). 321 pp.
- JACOBY, G.C. y D' ARRIGO, R. (1989): Reconstructed Northern Hemisphere annual temperature since 1671 based on high-latitude tree-ring data from North America. *Climatic Change*, 14: 39-59.
- JAWOROWSKI, Z. (1994): Ancient atmosphere - validity of ice records. *Environ. Sci. & Pollut. Res.*, 1 (3): 161-171.
- HURRELL, J. W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269: 676-679.
- HURRELL J.W., VAN LOON, H (1997): Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change*, 36: 301-326.
- HURRELL J.W.; KUSHNIR Y.; OTTERSEN G. y VISBECK M. (Eds) (2003): «The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact», *Geophysical Monograph Series*, 134, 279 pp.
- IPCC, 2001. HOUGHTON J.T. *et al.* (Eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, 892 pp.
- LINDZEN, R. S. (1990): Some coolness concerning global warming. *American Meteorological Society*, 71: 288-299.
- MITCHELL, J.F.B.; JOHNS, T.J.; GREGORY, J.M. y TETT, S.F.B. 1995: Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols. *Nature*, 376: 501-504.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a E. 2005: «El cambio climático y las temperaturas», En Sanz Donaire (Coor.)(2005). *Ciclo de Conferencias sobre el Cambio Climático*. Real Sociedad Geográfica, Madrid.
- PETERSON, Th.C. and EASTERLING, D. R. (1994): Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology*, 14, 671-679.
- PETERSON, Th.C; VOSE, R. S.; Schmoyer, R. and Razuvaev, V. (1997): Quality control of monthly temperature data: The GHCN experience. *International Journal of Climatology*, (en prensa).
- PROHOM DURÁ, M. J. (2001): Incidencias de grandes erupciones volcánicas sobre la Península Ibérica (1856-1998). En: Pérez Cueva *et al.* (Eds). *El Tiempo del Clima*. Publicaciones de la AEC, Serie A, n^o 2: 199-206.
- SANZ DONAIRE, J. J. (1999): «Escepticismo al «cambio climático»: el ejemplo de las temperaturas, Almería, Nimbus, 4: 173-198.
- SANZ DONAIRE, J. J. (2002): Un cambio climático que no existe: las precipitaciones en Madrid. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, Vol. Extraordinario, Homenaje a J.M^a Sanz García. Madrid: 443-458 pp.
- SOON, W., *et al.* (2003). Reconstructing Climatic and Environmental Changes of the past 1000 years: A Reappraisal. *Energy & Environment*, 14: 233-296.

DIRECCIONES DE INTERNET

<http://www.earth.google.com>

<http://www.ipcc.ch>

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>