

**J. Quereda\***

## **¿HACIA UN CAMBIO CLIMATICO?**

*\* Con mi gratitud a los auxiliares de meteorología de la A-500, señores J. Biosca, V. Peris y A. Querol.*

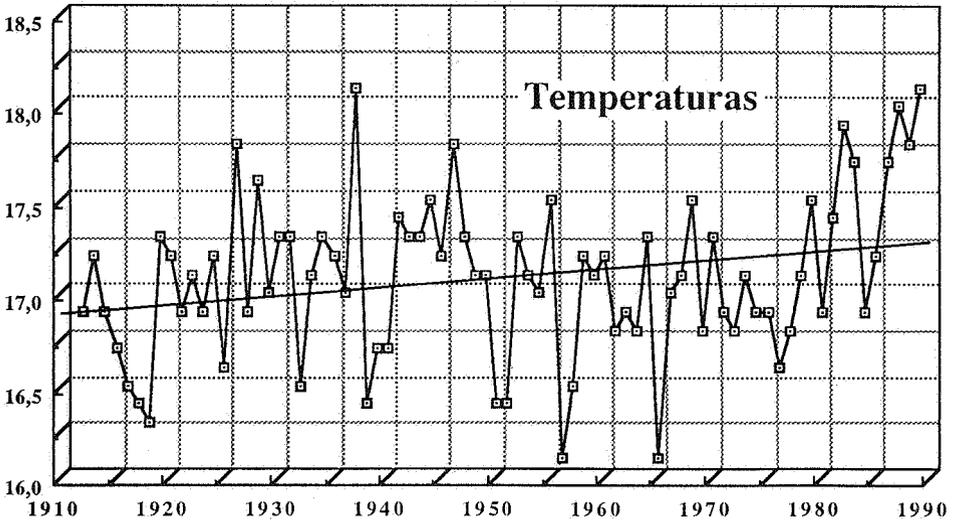
## INTRODUCCION.

La sensible alteración de los elementos climáticos, tanto en valor como en régimen, a lo largo de estos últimos años, permite calificar a nuestra actual década como la más anómala del presente siglo.

La mayor de estas anomalías, para el gran público, es la grave secuela de riadas e inundaciones que se vienen abatiendo sobre el área mediterránea en el transcurso de los últimos años. Si entre 1978 y octubre de 1982 se extendió uno de los períodos más secos de nuestra climatología, a partir de esa fecha el régimen pluviométrico, con sus brutales precipitaciones, ha pasado a ser una de las preocupaciones prioritarias de la sociedad.

Sin embargo, y con ser importantes, la mayor anomalía climática de la presente década no la constituyen esas reiteradas lluvias torrenciales, sino que, más silenciosamente, viene registrándose en el progresivo aumento de las temperaturas.

La serie de las temperaturas del observatorio de Castellón cuenta con registros continuos desde 1912. Esta serie, hasta enero de 1976, se obtuvo en las instalaciones del Instituto Francisco Ribalta. A partir de esa fecha, el nuevo observatorio, Estación A-500, se ubicó en el polígono de Almassora, al exterior de la ciudad. Por ello, para homogeneizar la serie completa 1912-1989, hemos reducido los datos modernos con los de los observatorios del Puerto y de Adzaneta. Sus resultados aparecen en la figura 1.



1. Evolución de las temperaturas en Castellón y tendencia lineal.

La evolución térmica registrada en Castellón se corresponde estrechamente con la desprendida de la mayor parte de los observatorios del Hemisferio Norte. Es decir, una progresiva elevación térmica que entre 1880 y 1950 ha sido estimada entre 0.4 y 0.6 C. (J. DETTWILLER, 1970, p. 21).

A partir de 1950 y hasta principios de los años setenta, se registra un palier o ligero enfriamiento (J. QUEREDA, 1976, p. 15). Este enfriamiento parece debido a una intensificación de la actividad volcánica cuyos aerosoles son opacos a la radiación solar y a lo largo del siglo han provocado un enfriamiento global de 0.3°C (BUDYKO, 1984, 3, p. 1).

Desde mediados de los años setenta, las temperaturas mundiales han vuelto a elevarse. Ello se refleja sensiblemente en Castellón. Esta es precisamente la anomalía más importante que se ha venido registrando a lo largo de la última década. Desde 1981 hasta 1989 ha transcurrido el período más caluroso del siglo XX. A mayor abundancia, el año más cálido del siglo ha sido el último, 1989, con 18.2 en Castellón, con 1.1°C sobre la normal climática.

Consecuentemente pues, es innegable que a esta última década se la puede calificar como la de mayores anomalías climáticas. Sin embargo, ya resulta más aventurado afirmar que hemos entrado en una fase de cambio climático. En cualquier caso, y a la vista del comportamiento termoplumiométrico de la década actual, es lícito interrogarse sobre su significado.

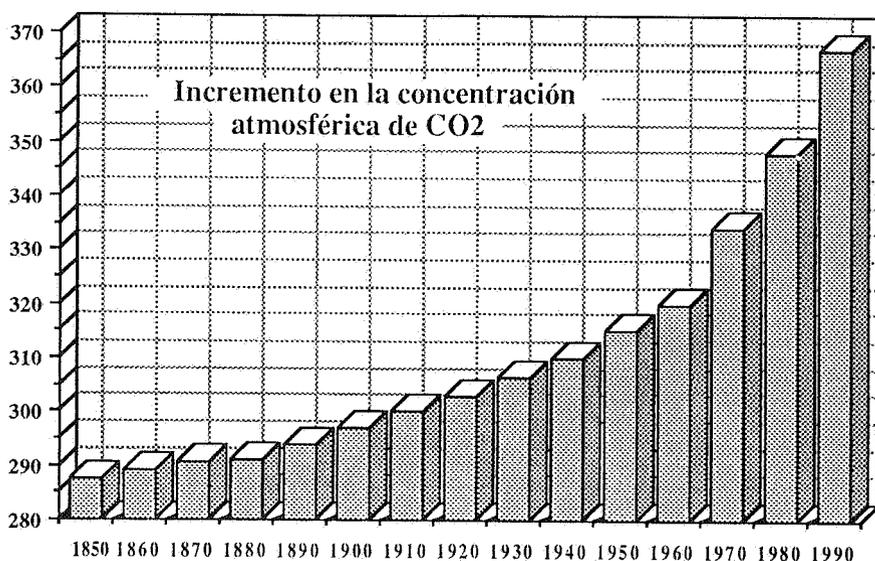
## **EFFECTO INVERNADERO.**

Es muy posible que ese comportamiento de los elementos climáticos, a lo largo de esta última década, esté acusando el efecto denominado de invernadero. De trascendentes consecuencias para la climatología mundial, este efecto está producido por el crecimiento de algunas sustancias gaseosas de la atmósfera que son transparentes a las radiaciones solares, principalmente de onda corta, pero que son, a su vez, opacas y muy infranqueables para las radiaciones de onda larga que irradia la superficie de nuestro planeta.

Las principales sustancias gaseosas involucradas en este proceso son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el mismo vapor de agua, y alguno de los gases en estado de trazos como el ozono y el metano.

La «vedette» de este proceso invernadero, quizás por su mejor conocimiento, parece ser el incremento en la concentración atmosférica del CO<sub>2</sub>. Este incremento, debido fundamentalmente a la utilización de combustibles fósiles y a la intensa deforestación, ha sido espectacular desde mediados del siglo XIX en que se produjo el despegue de la civilización industrial. Así, desde niveles de 280 ppm. en 1877 (G. STANHILL, 1982, p. 221), la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha pasado a 363 ppm. en 1989. Un crecimiento rapidísimo a partir de unos valores bien establecidos para el último cuarto del siglo XIX (G.S. CALLENDAR, 1940, 66), y que han podido reconstituirse asimismo mediante el análisis del aire atrapado en los hielos de la Antártida, así como por los registros del observatorio del Mauna Loa desde 1958 (V. SIEGENTHALER, 1987, p. 141).

La cuestión clave que este crecimiento (Figura 2) plantea es ¿se ha producido un incremento en la temperatura media global paralelo al del  $\text{CO}_2$ ? Como hemos visto, las conclusiones a esta cuestión desprenden que el calentamiento general de esta última centuria oscila entre  $0.4$  y  $0.6^\circ\text{C}$ . Así, a pesar de las variaciones interanuales y del período fresco 1960-70, la tendencia general del clima, al menos en el Hemisferio Norte, parece ser la de un aumento de las temperaturas. Dentro de ella destaca la elevación sensible de esta última década, la más calurosa del siglo XX en el observatorio de Castellón y en el que 1989 constituye uno de los records cálidos. Los registros de una bien seleccionada red de 300 estaciones del Hemisferio Norte han aportado asimismo materiales suficientes como para confirmar la conclusión de un moderno proceso de calentamiento global (K.Ya. VINNIKOV, 1987, 1, p. 37).



2. Evolución histórica del  $\text{CO}_2$ .

Simultáneamente, diversos seguimientos oceanográficos realizados en los Estados Unidos, han establecido que los océanos mundiales han experimentado, en los últimos años, un calentamiento general de  $0.1^\circ\text{C}$  por año. Ello ha permitido avanzar como hipótesis el calentamiento global de las aguas oceánicas marinas en  $1.^\circ\text{C}$  para la próxima década (R.A.S. RATCLIFFE, 1989, 44, 8, pp. 353-54).

Los resultados de todas las investigaciones actuales parecen conducir, así, a los primeros síntomas de un calentamiento general del clima, si bien con sensibles oscilaciones anuales. No obstante, y con especial registro en Europa, la última década ha sido una de las más calurosas.

Los datos térmicos del observatorio de Castellón reflejan esos mismos efectos.

## ¿EL CLIMA DEL AÑO 2000?

La segunda cuestión que se plantea es la del posible incremento de este efecto invernadero y su repercusión climática. Las tentativas de cuantificación, basadas en el aumento de  $\text{CO}_2$  por quema de combustibles fósiles, venían atribuyendo tasas de crecimiento importante del 3.5 % anual (W.P. ELLIOT, 1983, p. 144). Ello supondría que desde las 360 ppm. actuales se pasaría a unas elevadísimas 600 ppm. de  $\text{CO}_2$  entre los años 2025-2030. De este modo, la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera se doblaría en los próximos 50-70 años (A.B. PITTOCK, 1982, p. 25).

Sin embargo, la mayor parte de los modelos de extrapolación empleados coinciden en señalar que este incremento rápido del  $\text{CO}_2$  no es indefinido y que la atmósfera se iría aproximando a un equilibrio con la superficie de los océanos. Consideraciones del balance energético basado en la disposición energética del calor latente a cargo de la evaporación, indican que existe un claro límite superior al crecimiento de las temperaturas situado en 306 K (S.B. IDSO, 1982, 27, p. 106). Consecuentemente, la Tierra no se dirige hacia ese invernadero total del planeta Venus.

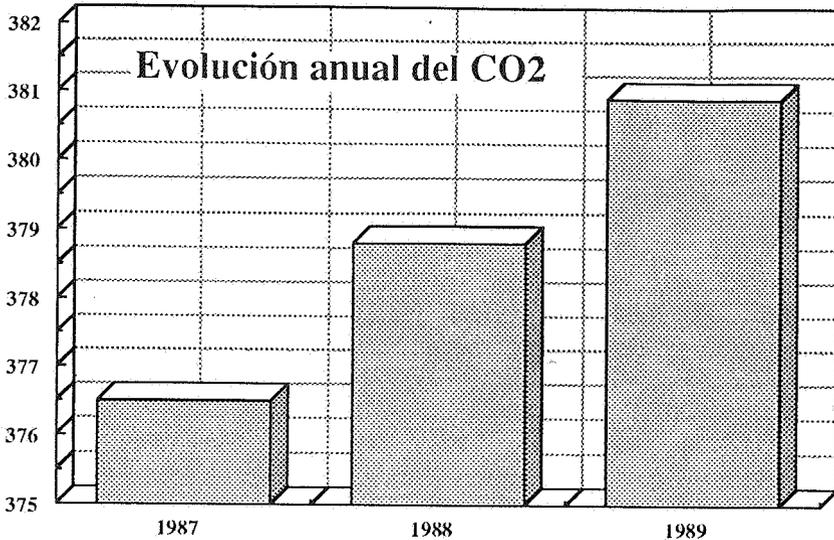
No obstante, el papel de los océanos en la evolución del  $\text{CO}_2$  no es bien conocido. En general se acepta que cerca de la mitad de cualquier incremento del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es absorbido por los océanos. Los procesos internos restan, sin embargo, complejos y faltos de investigación. Así, tanto los animales con esqueleto y caparazón calcáreo, como las algas, absorben  $\text{CO}_2$  del océano y de la atmósfera respectivamente. Por otra parte, el calentamiento de las aguas puede aumentar la emisión de  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera, ya que la solubilidad del dióxido de carbono aumenta con el decrecimiento térmico de las aguas marinas, 0.2 ppm. más para un aumento de un grado C en las aguas ecuatoriales (W.P. ELLIOT, 1987, p.172).

Al mismo tiempo es preciso recordar que la circulación en el océano profundo es muy diferente de la de los niveles próximos a la superficie. El exceso de  $\text{CO}_2$  en estos niveles superficiales puede tardar décadas e incluso centurias en penetrar al océano profundo. De este modo, el equilibrio oceánico con respecto al  $\text{CO}_2$  puede no alcanzarse jamás.

Igualmente, como consecuencia de la dinámica convectiva de los océanos con un marcado ciclo estacional, el efecto de una elevación de la sst puede ser suavizado. El proceso puede ser la energía lanzada desde el océano hacia la atmósfera por convección. Una cantidad de energía intercambiada que puede ser grande como la misma capacidad del océano para absorber calor en invierno, cuando la profundidad de la termoclina es considerablemente mayor que la normal (A. HENDERSON-SELLERS, 1987, p. 357).

De este modo, si una estimación verosímil no puede aceptar el doblamiento del  $\text{CO}_2$  en los próximos 50 años, es cierto que el dióxido de carbono sigue incrementándose con tasas entre 1 y 2 ppm al año (M. TANAKA, 1987, 39 B, p. 29). Los modelos de circulación general disponibles coinciden en señalar

un incremento paralelo de las temperaturas (NAS, 1982). Ese incremento sería pues inferior a los 2-4°C deducidos para la hipotética duplicación del CO<sub>2</sub> (A. HENDERSON-SELLERS, 1986, p. 267). (Fig. 3).



3. Evolución de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>.

Paralelamente a la complejidad de los procesos oceánicos, las diferencias en las previsiones de los distintos modelos residen en las interacciones que pueden producirse por la humedad, nubosidad y cambio en el albedo. Una de las mayores dificultades reside en la parametrización de las nubes. Con el crecimiento de la temperatura en todo el globo es de esperar más humedad para evaporar e introducir en la atmósfera. A su vez, este vapor de agua actúa como un gas de invernadero reforzando el proceso en interacción con el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el tema es complicado por la nubosidad. Un incremento de nubes puede aumentar el albedo del planeta así como el mismo efecto invernadero, ignorándose cual de los dos procesos contrapuestos predomina.

En reacción simultánea opera el cambio de albedo o poder de reflexión de la energía solar incidente, la fusión del casquete polar podría tener un positivo «feedback» en las temperaturas globales. Al mismo tiempo, la elevación del nivel marino, debido a la fusión de los hielos polares constituirá un serio problema. En el momento actual se estima que el nivel del mar se ha elevado 9.5 cm. desde 1850 y las mismas estimaciones calculan que el nivel se elevaría 33 cm. más hasta el año 2050, si bien con una gran posibilidad de error (J. OERLEMANS, 1989, p. 151).

Sin embargo, todas estas incertidumbres de magnitud no ocultan la principal consecuencia del efecto invernadero: la elevación térmica general. Máxime cuando el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> y vapor es paralelo al detectado en los gases en estado de trazos.

En efecto, si hasta ahora, la «vedette» del efecto invernadero ha sido el incremento en el  $\text{CO}_2$ , comienza a percibirse la importancia, cuanto menos semejante, de los otros gases en estado de trazos, principalmente el protóxido de nitrógeno (NO), producido por la desnitrificación de los restos orgánicos en el suelo y el metano (CH), producto de conversión de CO ligado a los combustibles fósiles. El metano es 20 veces más efectivo en el aumento de las temperaturas que la misma cantidad de  $\text{CO}_2$  y el protóxido de nitrógeno nada menos que 200 veces tan efectivo como el dióxido de carbono (A. LACIS, 1981, p. 1038). Una efectividad que se comprende pensando que estos gases vienen a ejercer su acción en la ventana irradiativa comprendida entre los 7.5 y los 12  $\mu\text{m}$ . y a la que no llegan el  $\text{CO}_2$  y el mismo vapor de agua.

Recientes experiencias han revelado que ambos gases CH y NO, disminuyeron sensiblemente durante la última glaciación así como durante la denominada Pequeña Edad de Hielo (1450-1750). En los períodos cálidos, como el previsto para el futuro inmediato, esos gases se incrementarán. De ahí la importancia que adquiere su consideración en el «feedback» invernadero. Así, en el global calentamiento de la pasada centuria, el protóxido de nitrógeno se ha incrementado en un 20% (M.A.K. KHALIL, 1989, p. 554).

Concluyentemente, los efectos climáticos asociados al incremento futuro de los gases NO y CH son de magnitud, al menos comparable, a la de los causados por el  $\text{CO}_2$ . Especialmente por sus tasas de crecimiento estimadas entre un 1.5 y un 3% anual. (I.S.A. ISAKSEN, 1987, p. 272).

## CONCLUSIONES

De este modo, el incremento atmosférico del  $\text{CO}_2$ , vapor y restantes gases en estado de trazos, producido por el empleo de combustibles fósiles, la deforestación y la desnitrificación de los residuos orgánicos, parece conducir a un incremento general de las temperaturas mundiales a causa del efecto invernadero que la concentración de tales gases en la atmósfera genera. Los modelos apuntan a que ese calentamiento elevaría las temperaturas globales entre 2 y 3.5°C en la primera mitad del siglo XXI y más concretamente en los próximos 50 años.

Las incertidumbres e ignorancias sobre tan trascendentales procesos climáticos, no impiden sugerir que la mejor aproximación o analogía al clima de la próxima centuria viene constituida por las condiciones que prevalecieron durante el Hypsitermal, en 6000 BP (H. FLOHN, 1979, p. 251).

De este modo, la influencia dominante en el clima de los próximos 50 años es el calentamiento en las medias y altas latitudes de ambos hemisferios. La velocidad de calentamiento es insegura, si bien se estima de 1°C por década en invierno y algo menos en verano.

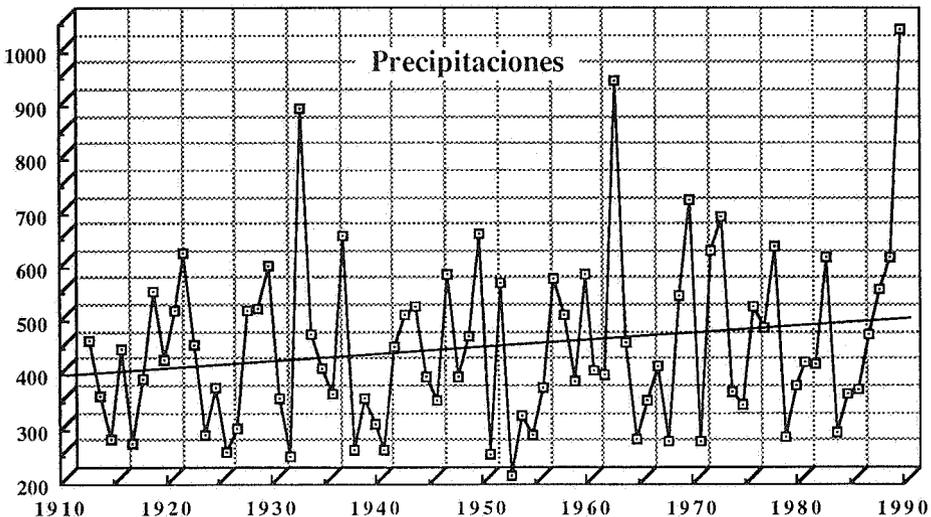
El calentamiento de esas latitudes se espera que vaya acompañado por un incremento en las precipitaciones en determinadas zonas climáticas migrando hacia el polo. Un grado centígrado de aumento térmico podría equivaler a un cambio latitudinal de 150-200 km. Así, el Anticiclón de Azores, al

igual que todas las células subtropicales de altas presiones se desplazarían desde los 35 grados de su posición media actual a los 40-43 grados. Ello se traduciría en una intensificación del ciclo hidrológico, con un menor rendimiento de recursos hídricos en la zona del Hemisferio Norte comprendida entre los 37-47 grados. Tal disminución está provocada principalmente por el aumento de las evapotranspiraciones con neto predominio sobre las precipitaciones que también se reducirán.

Concomitantemente con este modelo para la zona 37-47 norte, las previsiones apuntan hacia un incremento de las precipitaciones al sur de los 37 grados, similar al de las altas latitudes. El decrecimiento de gradiente térmico ecuador-polo determinaría que la reducción en transferencias de calor sensible se compensarán con las de calor latente de las condensaciones y lluvias.

Este modelo, desarrollado para las áreas continentales del Hemisferio Norte, ha recibido una considerable atención, particularmente por su predicción de que la zona entre los 37-47 grados de latitud norte, la de mejor producción de cereales, experimentará una reducción de precipitaciones y consecuentemente un déficit de recursos hídricos agravado por las mayores evaporaciones. Proyecciones que conciernen así al futuro de esa faja de gran aptitud agrícola (N.J. ROSENBERG, 1982, p. 251).

Sin embargo, las previsiones hídricas de los principales modelos no parecen estar cumpliéndose en el Mediterráneo español. A nuestro juicio, ello puede deberse a que tales modelos, bien concebidos para las áreas continentales, han subestimado el efecto oceánico-marino. Con el mayor calentamiento de las aguas, la atmósfera está mejor provista de vapor de agua. Con ello, en las zonas ecuatoriales, energía y vapor engendrarán huracanes más intensos.



4. Evolución de las precipitaciones en Castellón y tendencia lineal.

Asimismo, en las zonas templadas, la mayor convección y el mayor vapor determinarán que las depresiones extratropicales sean más vigorosas.

Es dentro de estos efectos donde deben integrarse las previsiones pluviométricas para el Mediterráneo occidental. El mayor calentamiento de las aguas superficiales del Mediterráneo intensificará, sin duda, las interacciones energéticas atmósfera-mar. Ello se puede traducir en dos efectos de capital importancia para la ciclogénesis de la cuenca occidental del Mediterráneo: el mismo drenaje del aire frío septentrional para compensación energética y la intensificación de los procesos convectivos que están en la base de nuestra grandes situaciones depresionarias (Fig. 4).

Tal vez esas excepcionales ciclogénesis del Mediterráneo occidental o la década más calurosa del siglo registrada en Europa o el calentamiento detectado en las aguas oceánicas o la reiteración de la oscilación en el Pacífico Sur de El Niño, sean los indicativos que, a lo largo de la última década, nos estén anunciando ese cambio climático. La atmósfera, sin embargo, como ha señalado RATCLIFFE (1989, 9, p. 394) puede comportarse mucho más elástica de lo que pensamos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- BUDYKO, M. I. (1984). «Effect of volcanic eruptions on climate». *Soviet Meteorology and Hidrology*, 3, pp. 1-6.
- CALLENDAR, G. S. (1940Z). «Variations of the Amount of Carbon Dioxide in Different Air Currents». *Q.J.R.M.S.*, 66, pp. 395-400.
- CROSSON, P. (1989). «Climate change and Mid-Latitudes Agriculture: Perspectives on consequences and Policy Responses». *Climatic Change*, 15, 1-2, pp. 51-74.
- DETTWILLER, J. (1970). *Evolution séculaire du climat de Paris. Mémorial 52, Météorologie Nationale*.
- EFIMOYA, N. A. (1987). «Change in moisture conditions in part of Eurasia with a a possible global warming of the climate». *Soviet Meteorology and Hidrology*, 11, pp. 14-18.
- ELLIOT, W. P. (1983). «A Note on the Historical Production of Carbon Dioxide». *Climatic Change*, 5, 2, pp. 141-144.
- ELLIOT, W. P. y J. K. ANGELL (1987). «On the relation between atmospheric and equatorial sea surface temperature». *Tellus*, 39B, pp. 171-183.
- FLOHN, H. (1979). «A scenario of possible future climates». *WMO*, 537, pp. 243-266.
- GLEEN, A. et alters (1986). «A high stand of the Dead Sea at the end of the Neolithic Period: Paleoclimatic and Archeological Implications». *Climatic Change*, 9, 3, pp. 343-356.
- HENDERSON-SELLERS, A. (1986). «Increasing cloud in a warming world». *Climatic Change*, 9, 3, pp. 267-310.
- HENDERSON-SELLERS, A. (1986). «Increasing cloud in a warming world». *Climatic Change*, 9, 3, pp. 267-310.
- HENDERSON-SELLERS, A. (1987). «Modeling sea surface temperature rise resulting from increasing atmospheric carbon dioxide concentrations». *Climatic Change*, 11, 3, pp. 349-60.
- IDSO, S.B. (1982). «Temperature limitation by evaporation in hot climates and the greenhouse effects of water vapor and carbon dioxide». *Agricultural Meteorology*, 27, 1-2, pp. 105-110.
- ISAKSEN, I. S. A. y HOV, O. (1987). «Calculations of trends in the tropospheric concentration of O<sub>3</sub>, OH, CO, CH<sub>4</sub> and NO». *Tellus*, 39, B, pp. 271-285.
- KHALIL, M. A. K. y RASMUSEN, R.A. (1989). «Climate induced feedbcks for the global cycles of methane and nitrous oxide». *Tellus*, 41, B, pp. 554-559.
- LACIS, A. (1981). «Greenhouse effect of trace gases». *Geophys. Rest. Lett.* 8, pp. 1035-1038.
- MANABE, S. y WETHERALD, R. T. (1980). «On the distribution of climate change resulting from an increase in CO<sub>2</sub> content of the atmosphere». *J. Atmos. Sci.* 37, pp. 99-118.
- N. A. S. (1982). «Carbon Dioxide and Climate: A second Assesment». *National Academy Press*, Washington, D. C. 72 pp.
- OERLEMANS, J. (1989). «A projection of future sea level». *Climatica Change*, pp. 151-174.
- PITTOCK, A.B. y SALINGER, M.J. (1982). «Towards regional scenarios for a CO<sub>2</sub>-Warmed Earth». *Climatic Change*, 4, 1, pp. 23-40.
- QUEREDA, J. (1976). «El clima de la Provincia de Castellón», 134 pp.
- QUEREDA, J. (1987). «Efectos de la actividad volcánica en el clima de Castellón». *Soc. Cast. de Cultura*. LXIII, pp. 251-260.
- RATCLIFFE, R.A.S. (1989). «Review of spring 1989 in the northern hemisphere». *Weather*, 44, 9, pp. 393, 94.
- ROSENBERG, N. J. (1982). «The increasing CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere and its implications on Agricultural productivity». *Climatic Change*, 4, 3, pp. 239-254.
- SIEGENTHALER, U. y OESCHGER, H. (1987). «Biospheric emissions during the past 200 years reconstructed by deconvolution of ice core data». *Tellus*, 39, B., pp. 140-154.
- STANHILL, G. (1982). «The Montsouris Series of Carbon Dioxide Concentration Measurements». *Climatic Change*. 4, 3, pp. 221-238.