
REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN EL RÉGIMEN DE TEMPERATURAS DE BARCELONA (ss. XVIII y XIX)

Mariano BARRIENDOS

*Forschungsstelle für Regional und Umweltgeschichte
Historisches Institut. Universität Bern*

Lidia GÓMEZ NAVARRO

*Departamento de Geografía Física y A.G.R.
Universidad de Barcelona*

RESUMEN

La incidencia de la actividad volcánica en el régimen térmico mensual y diario es un aspecto poco estudiado en nuestro ámbito geográfico. Su caracterización ha constituido la oportunidad para abordar diferentes técnicas de tratamiento estadístico de las series meteorológicas instrumentales.

ABSTRACT

Thermic incidence of volcanic activity on daily and monthly resolution with long instrumental series have been the opportunity to apply different statistic methods.

1. INTRODUCCIÓN

La climatología dispone en la actualidad de unos medios informáticos que permiten aplicar técnicas cuantitativas a series de datos prolongadas de forma rápida y eficaz. Aprovechando estas posibilidades se ha realizado un desarrollo metodológico con la aplicación de diferentes técnicas estadísticas sobre unas series climáticas. En concreto, se ha pretendido analizar un fenómeno poco conocido en nuestro ámbito geográfico como es la repercusión de las erupciones volcánicas en el régimen térmico. Para ello se han empleado dos series de Barcelona, de distinto origen: las observaciones meteorológicas del Dr. Salvà (1780-1824) y los registros oficiales del I.N.M. en el aeropuerto y ciudad de Barcelona.

Los objetivos de este artículo se centran en dos bloques diferentes. Por un lado, la aplicación de diferentes técnicas estadísticas sobre series de datos a resoluciones temporales diferentes (diarias y mensuales). Por otro lado, la aproximación a un tema relativamente poco conocido en nuestras latitudes como es la repercusión térmica de las erupciones volcánicas en resoluciones temporales tan detalladas.

2. LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA COMO AGENTE CLIMÁTICO

La actividad volcánica ha generado un considerable número de trabajos en los que se ha valorado la repercusión de este fenómeno como agente climático. Parece evidente que esta repercusión en el régimen térmico es relativamente acusada en los valores medios de temperatura, aunque en un período temporal breve que apenas suele prolongarse más allá de cinco años.

Las opiniones no son aún plenamente coincidentes respecto a la intensidad y duración de esta repercusión. Hay autores que le atribuyen el protagonismo principal, junto a las variaciones casuales, de la variabilidad climática de los últimos 400 años (JACOBY y D'ARRIGO, 1989). La actitud más ponderada es la que atribuye a la actividad volcánica una parte importante de la variabilidad climática, especialmente con un enfriamiento relativo de inviernos y veranos, aunque con una incapacidad para intervenir en cambios climáticos importantes (GRIBBIN, 1989). Por ejemplo, los estudios realizados sobre la erupción del Tambora ofrecen un descenso en la temperatura media anual entre 0.4 y 0.7 grados centígrados para el Hemisferio Norte (STOTHERS, 1984).

Las diferencias en la repercusión térmica está en relación a diversos factores. Por un lado, la composición química de los gases eyectados cuyos efectos exactos aún son poco conocidos. Y en segundo lugar, las dimensiones y cantidades exactas de aerosol emitido, así como la localización geográfica del volcán emisor y las características de difusión de los materiales. Ya se indicaba anteriormente la relativamente escasa incidencia en el régimen térmico global de las erupciones identificadas con mayor detalle (las correspondientes a la época histórica), pero no debe olvidarse que a escalas geológicas la actividad volcánica presenta eventos de magnitudes colosales. Por ejemplo, erupciones que a escala histórica son excepcionales en cuanto a eyección de materiales, como la del Krakatoa (20km³ de material) quedan minimizadas frente a erupciones estudiadas a través de testimonios geológicos que dan emisiones de hasta 1000km³ (SESIANO, 1985).

Existe una mayor coincidencia en atribuir una incidencia temporal breve de la actividad volcánica en el régimen térmico interanual. Parece evidente que la incidencia es notable entre 1 y 3 años después de la erupción, aunque este efecto nunca va más allá de los 7 años (RAMPINO, 1979). Los valores de déficit térmico inducido por este fenómeno suele ser de unas décimas de grado, no llegando a superar el grado centígrado en la temperatura media anual (GROVE, 1988). Los estudios para conocer en detalle la variabilidad climática producida por esta actividad aún no ofrecen un conocimiento completo de la misma (BRYSON y GOODMAN, 1980), lo que permitiría disponer de cierta capacidad de predicción de las variaciones climáticas después de identificar y cuantificar cada erupción volcánica.

En definitiva, la actividad volcánica como agente climático es un fenómeno complejo debido a la diversidad en la composición de los gases y materiales sólidos eyectados por los diferentes tipos de volcanes (LAMB, 1971). Además, el efecto acumulado y variado de las sucesivas erupciones complican aún más su impacto efectivo en la dinámica climática.

En el presente trabajo se trata de ver esta incidencia térmica a resolución temporal

muy detallada, valorando sus efectos en el comportamiento térmico regular mediante diferentes técnicas de tratamiento estadístico de los datos instrumentales meteorológicos.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EPISODIOS VOLCÁNICOS Y LAS SERIES METEOROLÓGICAS ANALIZADAS

Los episodios volcánicos que se han analizado en este trabajo son los que seguidamente se detallan en el cuadro 1.

Año, mes	Volcán	País	Loc	Alt.	DVI
1783, V	Eldeyjar	Islandia	63N-23W		700
	Asama Yama	Japón	36N-138E	2542m	300
1815, IV	Tambora	Indonesia	8S-118E	2850m	3000
1883, VIII	Krakatoa	Indonesia	6S-105E	813m	1000
1963, II	Agung	Indonesia	8S-115E	3142m	800
1982, III-IV	El Chichón	México	17N-93W	1260m	700?
1990, IV	Pinatubo	Filipinas	15N-120E	1780m	

Cuadro 1. Características de las erupciones analizadas.

Se escogieron tres erupciones históricas y tres actuales con la finalidad de poder comparar los efectos que éstas tuvieron en las temperaturas. Tras realizar el análisis para cada uno de estos episodios volcánicos, se han seleccionado dos de ellos a efectos prácticos: el episodio del Eldeyjar y Asama Yama (1783) y el del Tambora (1815), ya que ambos se hallan relativamente libres de la influencia de la actividad industrial moderna, así como del calentamiento atribuido al fenómeno de la isla de calor en las grandes ciudades.

Respecto a los datos necesarios para abordar este estudio metodológico sobre el efecto de las erupciones en el régimen térmico, se han utilizado varias series de registros mensuales y diarios:

a) Serie de datos de Barcelona de 1780 a 1987. Se trata de registros manuscritos del Dr. Salvà y del Dr. Yáñez (Real Academia de Medicina), y los datos del Servicio Meteorológico. La serie completa abarca 196 años, con un vacío documental entre 1842-1852 y 1867. Se ha utilizado para la estandarización de los datos mensuales.

b) Serie de Barcelona de 1937 a 1960. Se ha denominado "serie base" porque a partir de ella se crea la campana de temperaturas mensuales con la que se comparan las erupciones objeto de estudio en sus valores absolutos. Se ha considerado este período por no registrarse durante el mismo una actividad volcánica destacada.

c) Serie de Barcelona "Aeropuerto". Es una serie de resolución diaria desde 1944 a 1993, utilizada para la estandarización de las series diarias de las erupciones volcánicas.

4. ANÁLISIS DE LOS VALORES MENSUALES

El análisis de los valores mensuales para identificar y caracterizar las anomalías térmicas ocasionadas por la actividad volcánica siguieron las siguientes pautas. En principio, para obtener las temperaturas medias mensuales se ha empleado una serie de Barcelona que comprende el período 1780-1987. El resultado (cuadro 2) de los valores medios apenas difiere de los correspondientes a las medias mensuales de las series más recientes. De hecho, la media anual resultante, 16.52 grados centígrados, apenas difiere de los 16.5 de la serie oficial del INM (1937-1960):

Mes	Media	Desv. est.
Enero	9.27	1.50
Febrero	10.36	1.61
Marzo	12.12	1.27
Abril	14.47	1.34
Mayo	17.91	1.59
Junio	21.68	1.62
Julio	24.64	1.54
Agosto	24.74	1.36
Septiembre	22.00	1.33
Octubre	17.77	1.32
Noviembre	13.16	1.30
Diciembre	10.13	1.55

Cuadro 2. Valores medios mensuales (°C), 1780-1987

El tratamiento de los datos a escala mensual ha consistido en primer lugar en analizar los valores absolutos de las temperaturas medias mensuales de Barcelona. La comparación se ha realizado entre la serie general (1937-1960) y las dos series que comprenden el año de la erupción y los cuatro posteriores.

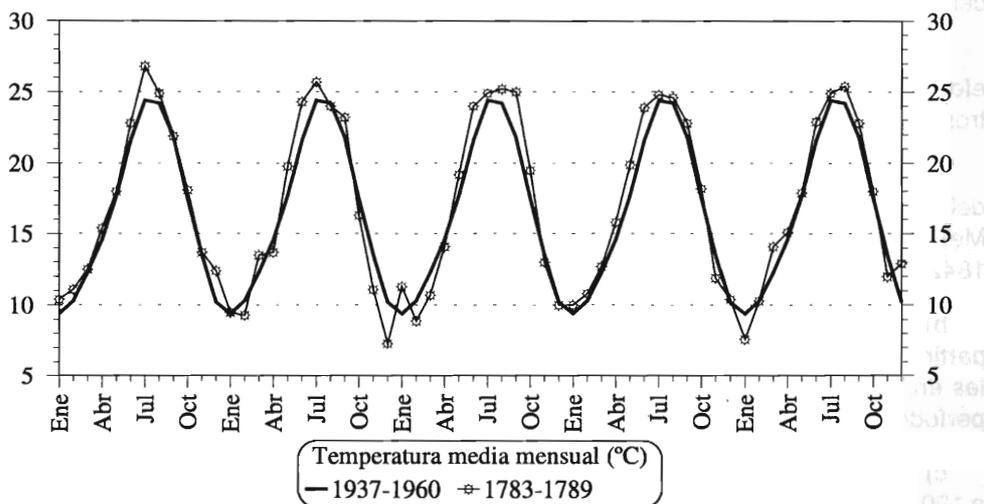


Figura 1. Temperatura media mensual en valores absolutos de la serie de Barcelona 1937-1960 y la erupción del Eldeyjar.

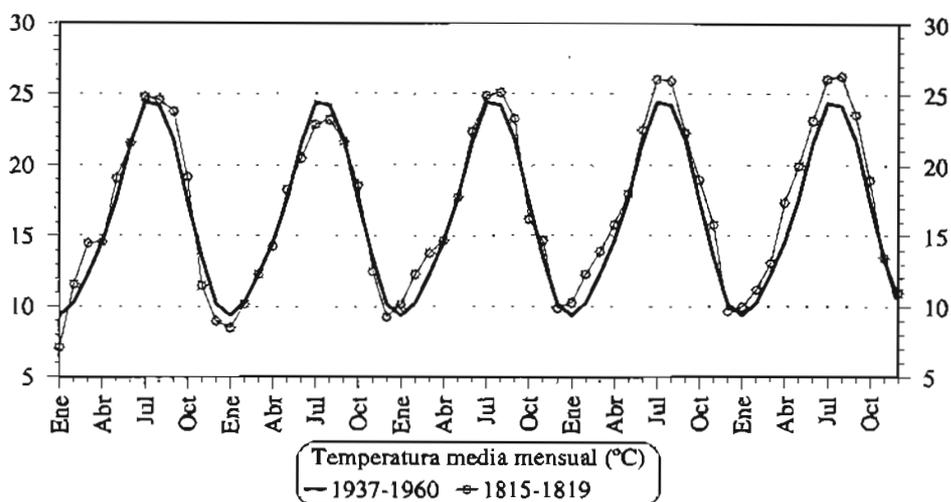


Figura 2. Temperatura media mensual en valores absolutos de la serie de Barcelona 1937-1960 y la erupción del Tambora.

El resultado de la superposición de la serie general con la de las erupciones ya permite percibir con claridad una serie de anomalías. Por ejemplo, en la erupción del Eldeyjar los veranos posteriores experimentan un calentamiento, fenómeno que "a priori" no tendría por qué producirse. Sin embargo, las primaveras y otoños no manifiestan apenas alteraciones. Sólo es digno de mención el período comprendido entre el otoño del segundo año y la primavera del tercero, en el que la anomalía térmica negativa se percibe claramente.

La erupción del Tambora aún presenta menos alteraciones. Sólo es perceptible una anomalía negativa en el primer invierno y el segundo verano después de la erupción. En los años siguientes el comportamiento de las temperaturas es incluso positivo respecto a los valores medios, con anomalías positivas muy perceptibles especialmente en las primaveras y los veranos.

El siguiente paso en el tratamiento de los datos consistió en la tipificación de los valores registrados después de cada erupción. Como parámetros de referencia se han empleado los resultantes de la serie 1780-1987, tal como se indica en la tabla 2. La figura 3 muestra el resultado de la comparación de ambas series después de haber reducido todos los valores a un nivel base = 0.

Como puede observarse, la variabilidad intermensual prácticamente impide apreciar ninguna tendencia significativa compartida o similar las series de ambas erupciones. Ello se debe probablemente al entrecruzamiento de diferentes factores y mecanismos que participan en esta variabilidad, por lo que es prácticamente imposible identificar a primera vista la componente correspondiente a la actividad volcánica, observando algún episodio específico con una especial intensidad o duración.

El siguiente paso en el tratamiento de los datos es algo más fructífero. La aplicación de medias móviles a los valores de ambas erupciones permite reducir notablemente el efecto de la variabilidad climática. La representación gráfica de los nuevos

REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

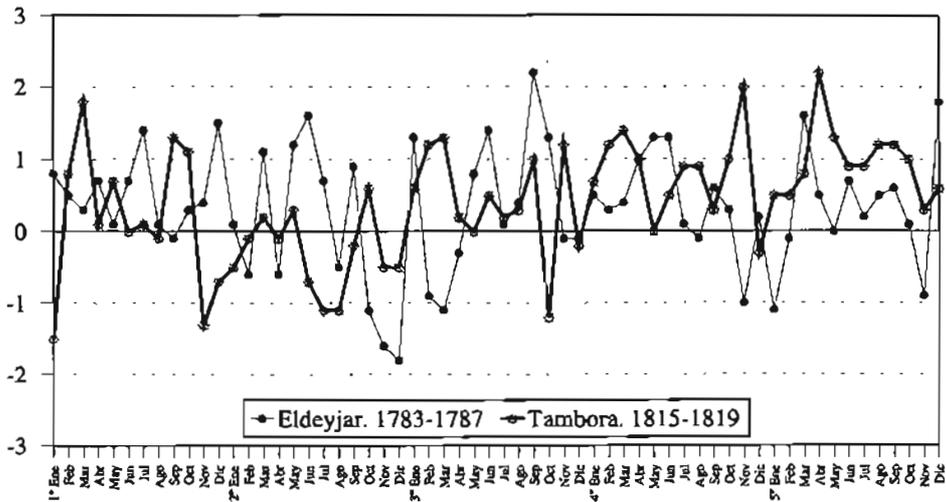


Figura 3. Valores estandarizados de las temperaturas medias mensuales en los episodios volcánicos del Eldeyjar y el Tambora.

valores obtenidos ya representa una mejora sustancial. Se puede observar a lo largo de los cinco años analizados como se produce en cada erupción una importante anomalía negativa. Ello es perfectamente perceptible aplicando medias móviles de 5 y 11 elementos.

La comparación entre las dos series manifiesta un comportamiento similar en ambas erupciones respecto a la dinámica general del clima, aunque con ciertas peculiaridades cada una de ellas. Ajustando el inicio de las series con el mes de cada una de las erupciones, se observa como la erupción del Tambora, mucho más intensa en cuanto a

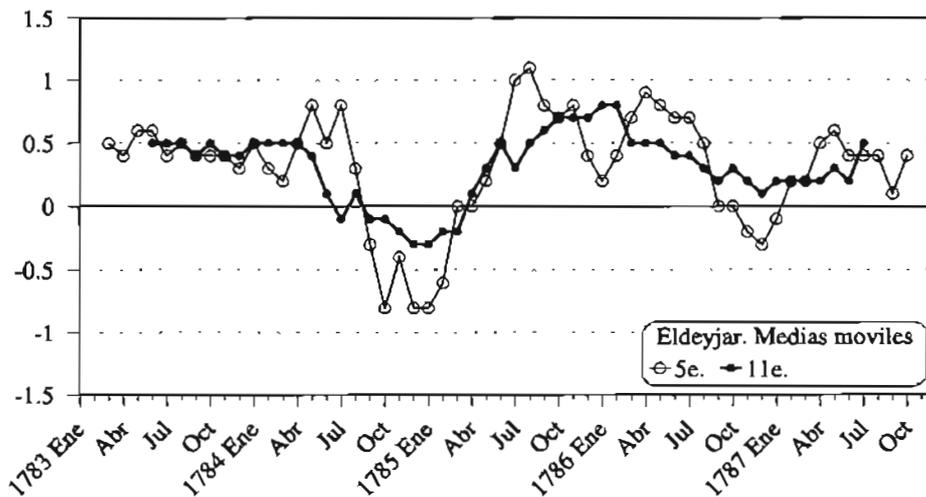


Figura 4. Episodio Eldeyjar. Medias móviles de 5 y 11 elementos.

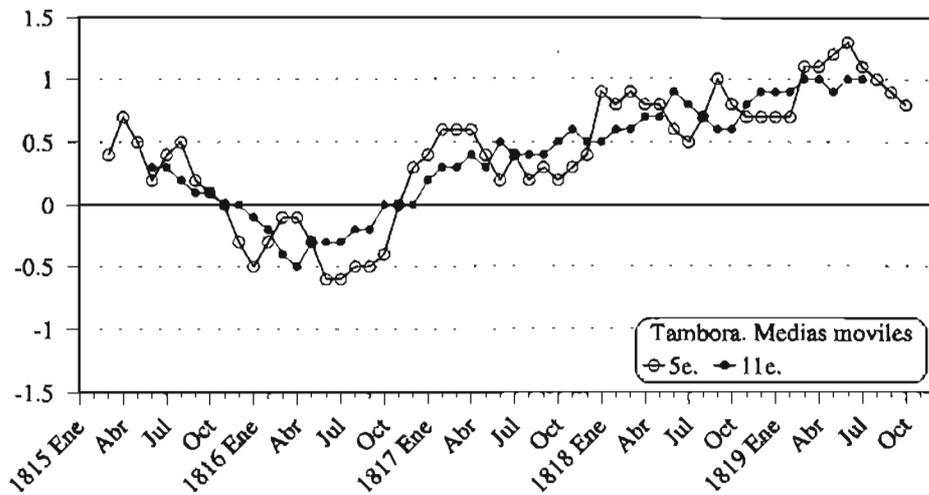


Figura 5. Episodio Tambora. Medias móviles de 5 y 11 elementos.

generación de velo estratosférico que el episodio de actividad volcánica registrado en 1783 (3000 DVI frente a 1000 DVI), produce un enfriamiento general de forma más temprana y más prolongado en el tiempo. Aún así, los valores de intensidad de la anomalía negativa alcanzan niveles similares en ambos casos.

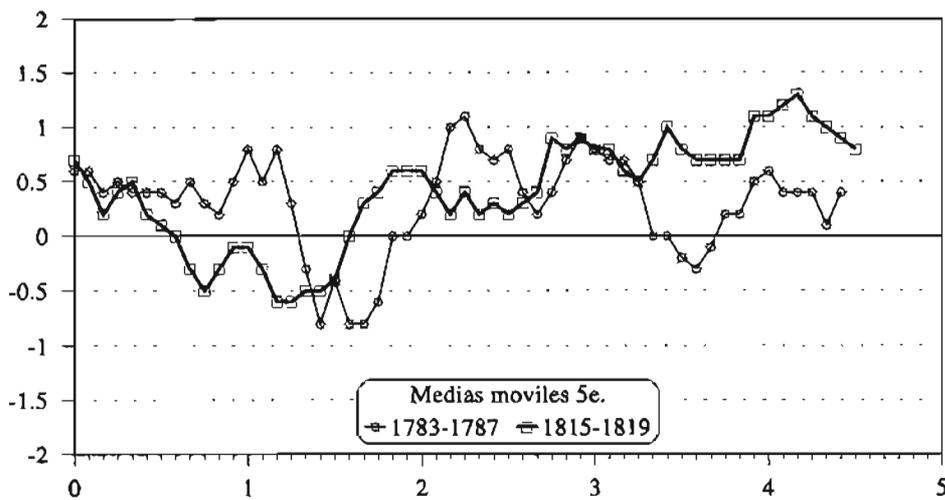


Figura 6. Medias móviles (5 e.) de los episodios Eldayjar y Tambora sincronizadas desde el momento de la erupción.

5. ANÁLISIS DE LOS VALORES DIARIOS

Después de haber comprobado que realmente se aprecia un enfriamiento de las temperaturas mensuales respecto a las temperaturas normales esperables, se consideró interesante realizar una aproximación más detallada, a escala diaria.

La metodología empleada para este análisis ha consistido en la estandarización de todos los datos diarios de las series de los episodios volcánicos Eldeyjar y Tambora, durante el año de su erupción y los cuatro siguientes (1825 días) en relación a la serie diaria de El Prat del Llobregat, durante el período 1944-93 (50 años).

En las figuras 7 y 8 se muestra la evolución de la temperatura estandarizada a partir del momento de la erupción del volcán que se estudia hasta dos años y medio después, momento en el que la fase de enfriamiento sostenido de las temperaturas parece ya finalizada: es evidente que aparecen con posterioridad días con valores inferiores a 0, pero se considera que ya no pertenecen a efectos directos y exclusivos de la erupción.

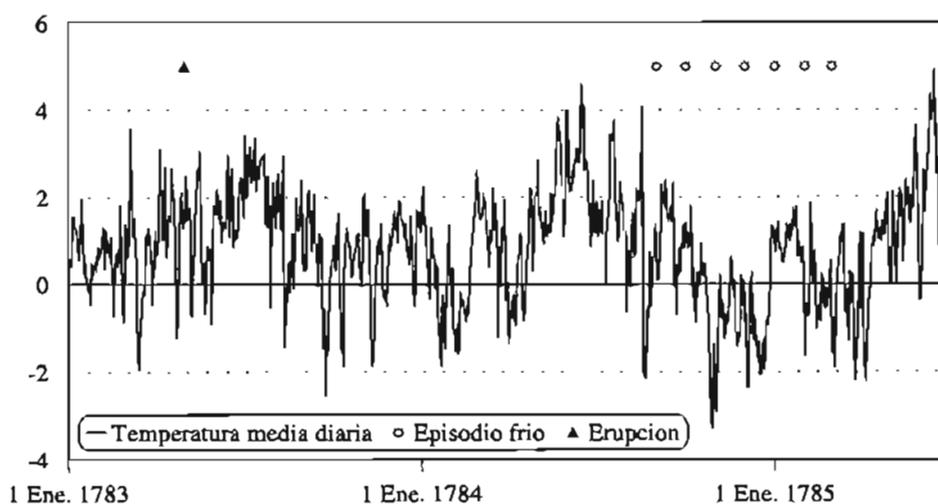


Fig. 7. Episodio Eldeyjar. Temperatura diaria estandarizada.

La fase fría a nivel mensual del Tambora es notablemente superior a la del episodio volcánico Eldeyjar aunque a nivel diario, curiosamente, el número de días con valores por debajo de 0 (días anómalos) es superior en el segundo episodio que en el primero (cuadro 3). Es necesario indicar que para realizar este recuento se consideran los 5 años de estudio, y no sólo aquel momento en que se produce el máximo enfriamiento. Este primer dato, el número de días con temperatura estandarizada por debajo de 0, nos condujo a calcular cuantas transiciones o cambios de estado se sufre en toda la serie, para ver cual es la persistencia de estos días, y si aparecen consecutivos o diseminados a lo largo de la serie. En este caso, también el episodio

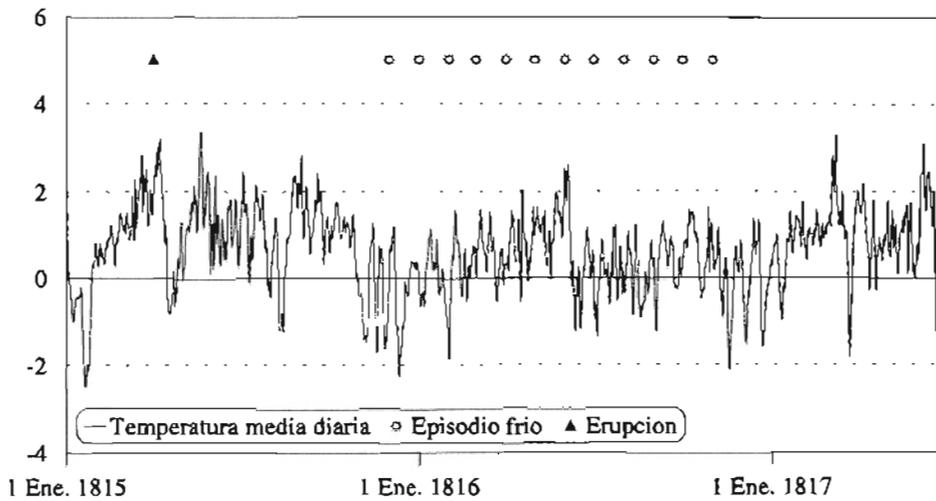


Fig. 8. Episodio Tambora. Temperatura diaria estandarizada.

Eldeyjar muestra mayores cambios de estado, que el Tambora.

Posteriormente se ha aplicado el modelo de las cadenas de Markov de 1er. orden: considerando días 1 aquéllos cuya temperatura estandarizada posea valor negativo, y días 0 los contrarios. Así, se ha construido la cadena de estados 1-0 consecutivos para cada erupción, cuyos resultados son los que se muestran:

	N.días anómalos	N.cambios estado	Ajuste X^2 cM1o.
Eldeyjar	410	194	23.70 — NO
Tambora	314	168	2.17 — SI

Cuadro 3. Cálculos realizados para cadenas de Markov, y ajuste.

El ensayo de ajustar la frecuencia de días anómalos a cadenas de Markov de 1er. orden dio un resultado dispar: un buen ajuste para la erupción del Tambora, y un ajuste deficiente la del Eldeyjar, por la mayor dispersión de los valores a nivel diario.

6. CONCLUSIONES

Las erupciones producen una alteración en los mecanismos atmosféricos aunque los diferentes patrones eruptivos (duración, intensidad, composición de los gases y aerosoles, localización geográfica) pueden llegar a configurar una alteración climática característica. El estudio de más erupciones podría llevar incluso a una tipificación detallada de éstas. La intensidad de las anomalías negativas es importante en cada caso, pero dentro de unos límites ya configurados no pudiendo, por ejemplo, generar un enfriamiento hasta valores realmente extraordinarios. La propia atmosfera debe disponer de unos mecanismos reguladores para impedir, dentro de unos determina-

dos umbrales, la generación de un proceso que diera paso a un verdadero cambio climático.

En cuanto al desarrollo metodológico, el tratamiento estadístico empleado ha parecido suficiente para caracterizar las erupciones volcánicas en su repercusión térmica. La complejidad del fenómeno dificulta en principio esta caracterización, por lo que este tema de trabajo parece uno de los más apropiados para continuar en el ensayo de técnicas estadísticas en un futuro próximo.

REFERENCIAS

BRYSON, R.A. y GOODMAN, B.M. (1980): "Volcanic activity and climatic changes", *Science*, vol. CCVII, pp. 1041-1044.

GRIBBIN, J. (1989): *El clima futuro*, Salvat, Barcelona.

GROVE, J. (1988): *The Little Ice Age*, Routledge, Londres.

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*, vol. XIV, Kluwer Academic Publishers, pp. 39-59.

LAMB, H.H. (1971): "Volcanic activity and climate", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. X, nos. 2-3, Elsevier, Amsterdam, pp. 203-230.

LAMB, H.H. (1988): "Volcanoes and climate: an updated assessment", en LAMB, H.H. (1988): *Weather, climate and human affairs*, Routledge, Londres, pp. 301-328.

RAMPINO, M.R.; SELF, S. y FAIRBRIDGE, R.W. (1979) "Can rapid climatic change cause volcanic eruptions?", *Science*, vol. CCVI, pp. 826-829.

RAMPINO, M.R. y SELF, S. (1991): "Efectos atmosféricos de El Chichón", en PUIGCERVER, M. (ed.): *El Clima*, Prensa Científica, Barcelona, pp. 56-66.

SESIANO, J. (1985): *L'influence des grandes éruptions volcaniques sur l'atmosphère et le climat*, Memoria para la obtención del título de privat-docent, Departamento de Mineralogía, Universidad de Ginebra, Ginebra.

STOTHERS, R.B. (1984): "The Great Tambora eruption in 1815 and Its Aftermath", *Science*, vol. CCXXIV, pp. 1191-1198.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la aplicación de una beca post-doctoral (FPU, MEC) y una beca pre-doctoral (FPI, MEC). Asimismo, se ha contado con el soporte del proyecto CICYT, n. CLI95-1928-C02-02.

ANEXOS.

INFORMACIÓN HISTÓRICA SOBRE LAS PRIMERAS ERUPCIONES ANALIZADAS

Anexo 1. Eldeyjar/Asama Yama

Archivo de la Academia de Medicina de Barcelona, Francisco Salvà i Campillo, Tablas Meteorológicas, vol. I. 1783. Resultado:

«A últimos de junio se empezó a observar en esta capital una niebla blanca y espesa que no dejaba ver los montes más vecinos y al través de ella el Sol parecía de color de sangre, con especialidad al tiempo de ponerse. Por la noche parecía quitarse, pues las estrellas se veían brillantes, pero a la madrugada volvía a verse y continuaba todo el día, sin que los vientos llegasen a quitarla. Las gazetas nos dan cuenta de que al propio tiempo se vio dicha niebla en Constantinopla, Suecia, Dinamarca y en otras varias partes de Europa. (...) El estío no fue muy caluroso, pero le tuvimos seco en los meses de julio y agosto y lluvioso en el septiembre de suerte que la abundancia de lluvias echaron a perder las uvas. (...) La niebla que empezó a verse a últimos de junio perseveró en observarse hasta mediados de julio. (...) Apenas hay memoria de hombres de haber visto un otoño tan lluvioso como el de este año y esto no sólo en Barcelona, si también casi en toda España...»

Anexo 2. Tambora

Archivo Histórico de Arenys de Mar, Memòries de la casa Belsolell de la Torre, 1816.

«Noto per cosa estranya que en tot lo mes de juny i juliol de l'any 1816 no feu gens de calor, antes bé feia fred, perquè corrien uns aires de mar demasiadament frescos per haver caigut pedra en Mallorca i en altres parts. I esto feu entretenir los blats, que lo segar durà tot lo juny i molta part de juliol i s'hagué de segar clapejant lo blat sec i deixant lo verdós. En terres nostres, per sant Jaume encara hi havia blat per segar; per consegüent lo batre també ha sigut tard, ja perquè no feia sol sinó cop de bromes tot lo dia i de nits estava serè, tot al contrari del que se necessitava».

Hemeroteca Municipal de Madrid, "Crónica Científica y Literaria", nº 9, 29 abril 1817.

"Noticias científicas y literarias: Las observaciones meteorológicas de este año ofrecen unas vicisitudes extraordinarias que han llamado la atención de todos los observadores. El mediodía de la Europa padece sequedades no comunes; interin la Alemania, el centro de la Francia, el Tirol y la Bohemia se han visto inundadas por lluvias copiosísimas. En el Sena, en el Rin y en el Loira ha habido crecidas arriadas. Entretanto en Suiza se ha cogido en febrero la cosecha de 1816, que había estado sepultada bajo el peso de las nieves. Estas han vuelto a caer con abundancia a principios de marzo. Las avalanchas, estos fenómenos espantosos de las regiones altas han sido muy frecuentes en los alrededores del Monte Blanco, en el valle de Chamouni y en las faldas del San Gotardo".