

# RELACIÓN ENTRE LAS TEMPERATURAS DIARIAS Y LA MORTALIDAD EN BARCELONA, Y SU AJUSTE MEDIANTE FUNCIONES POLINÓMICAS

José M. RASO NADAL

*Departament de Geografia Física i AGR. Universitat de Barcelona*

## RESUMEN

La aplicación de funciones polinómicas en el análisis de las relaciones entre la mortalidad diaria y las temperaturas permite la obtención de ajustes satisfactorios y la definición de dos umbrales termométricos, a partir de los cuales todo incremento o descenso de las temperaturas provoca efectos diferentes en la mortalidad.

**Palabras clave:** Barcelona, edad, mortalidad, regresión polinómica, salud, temperatura.

## ABSTRACT

*The application of polynomial functions in the analysis of the relationships between the daily mortality and the temperatures allows to get satisfactory adjustments and the definition of two thermometric thresholds. An increase or decrease from those thresholds provokes different effects on the mortality.*

**Key words:** age, Barcelona, health, mortality, polynomial regression, temperature.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos, por su condición de homeotermos, son sensibles a las condiciones termométricas ambientales, susceptibles de afectar en mayor o menor medida las funciones fisiológicas, hasta el punto de condicionar el estado de salud y, en condiciones extremas, desencadenar o acelerar procesos patológicos con final irreversible.

El óptimo desarrollo de las funciones orgánicas requiere, entre otros parámetros ambientales, el mantenimiento de la temperatura del aire dentro de unos determinados umbrales. Las personas adultas y sanas cuentan con recursos o mecanismos fisiológicos para hacer frente a los impactos provocados por oscilaciones termométricas que exceden estos umbrales, pero no resulta posible un alejamiento de los mismos sin que el organismo humano sufra los efectos de unas temperaturas excesivamente altas o bajas. La relación de los fenómenos atmosféricos cambiantes, particularmente la temperatura, con la salud forma parte del acervo de conocimientos clásicos de la medicina (BALLESTER, 1996). Determinados parámetros fisiológicos, psicológicos y endocrinos, como el contenido de fibrinógeno en sangre, ciertos desórdenes afectivos y los niveles de melatonina muestran distintos ritmos anuales (LERCHL 1998). La identificación de ritmos estacionales en la mortalidad humana ha sido objeto de frecuentes estudios durante los dos últimos decenios, los cuales han puesto de manifiesto que las tasas de fallecimientos ocurridos en invierno son netamente

superiores a las registradas en verano, tanto las relativas a la totalidad de las afecciones patológicas o accidentes causantes de la muerte, como las achacables a determinadas patologías, sobre todo las capaces de provocar fallos cardiovasculares y respiratorios. Corresponde a los especialistas médicos investigar las relaciones causales o mecanismos de acción de los fenómenos atmosféricos en la salud, todavía no suficientemente conocidos, pero la constatación de un incremento de la mortalidad en invierno se ha relacionado preferentemente con las diferencias termométricas estacionales en países y localidades tan diversas como Inglaterra y Gales (DONALDSON y KEATINGE, 2002; PELL y COBBE, 1999), China (PAN *et al.*, 1995), Nueva Zelanda (COCKBURN y SALINGER, 2001), Canadá (BART y BOURQUE, 1995), Hawai (SETO *et al.*, 1998) y Estados Unidos (KLONER *et al.*, 1999). Trabajos recientes ha puesto de manifiesto que las diferencias entre las tasas de mortalidad estacionales han disminuido en los últimos decenios del siglo XX, pero todavía están lejos de cifrarse en valores próximos o equivalentes (LERCHL, 1998; BECKER y WENG, 1998; GEMMELL *et al.*, 2000). El decrecimiento de las disparidades entre las defunciones registradas en invierno y en verano ha sido posible gracias a diversos factores, pero, esencialmente, a los constantes avances en la investigación y en el acceso a unos mínimos cuidados médicos de todos o cada vez mayores sectores de población, así como a la mejora de la alimentación y las condiciones de vivienda y trabajo de la mayoría de los habitantes de los países desarrollados, con la consiguiente reducción de los riesgos para la salud derivados de las inclemencias atmosféricas.

Las temperaturas relativamente elevadas registradas en los últimos lustros de la pasada centuria, indicio para algunos especialistas y clara señal para otros de la existencia de un auténtico cambio climático, caracterizado por un calentamiento del planeta pueden haber facilitado en alguna medida el descenso de la mortalidad invernal. Precisamente la preocupación por los posibles impactos que los cambios climáticos vaticinados en multitud de trabajos publicados en el último cuarto del siglo XX, de los que son fieles exponentes los sucesivos informes del IPCC, particularmente el más reciente editado por el *Working Group II* (IPCC, 2001), puedan provocar, directa o indirectamente, en la salud humana a lo largo de la actual centuria ha inspirado la realización de abundantes estudios que tratan de prever sus potenciales efectos (KALKSTEIN y VALIMONT, 1987; KALKSTEIN, 1988; HAINES, EPSTEIN y McMICHAEL, 1993; McMICHAEL *et al.*, 1996; MARTENS, 1998; BALBUS y WILSON, 2000; KOVATS *et al.*, 2000; MCGREGOR, 2000). Todos estos trabajos, de indudable interés científico, muestran una intencionalidad aplicada, ya que aportan datos útiles en el establecimiento de medidas y organización de actividades destinadas a minimizar las consecuencias menos deseables que se deriven de los cambios climáticos pronosticados. La previsión de toda hipotética incidencia en la salud de estos posibles cambios requiere el análisis previo de las alteraciones provocadas en el organismo humano por acción atmosférica en tiempos recientes. Los estudios de esta naturaleza no resultan fácilmente extrapolables, debido a la diversidad de los climas, sobre todo de los microclimas urbanos. El presente trabajo se propone analizar el ritmo estacional de la mortalidad total, así como la achacable a fallos cardiovasculares y respiratorios en Barcelona, y las relaciones entre las temperaturas diarias y el número de fallecimientos con el fin de definir los parámetros termométricos bajo los que aumentan o disminuyen las probabilidades de defunción.

## 2. DATOS Y MÉTODOS

La información referente a la mortalidad fue proporcionada por el *Institut Municipal de Salut* de Barcelona. Los datos utilizados incluyen el número total de fallecimientos diarios registrados entre los años 1990 y 1997, con especificación de los provocados por afecciones cardiovasculares y respiratorias. Durante estos ocho años, la población de la ciudad sufrió un ligero retroceso que puede estimarse en torno al 1,6 % anual a partir de los datos referentes a 1991 y 1996, los más fiables por tratarse de los años en que se elaboró respectivamente el censo y padrón de habitantes.

Las series de observaciones termométricas diarias correspondientes al aludido período 1990-1997 proceden de la estación meteorológica de Fabra, que se localiza en un repecho de la montaña del Tibidabo, desde la que se contempla la ciudad a 412 metros sobre el nivel del mar. Sería deseable contar con los datos registrados en la propia ciudad, pero las series de temperaturas registradas en la red de estaciones automáticas distribuidas en distintos puntos del municipio son incompletas, hasta el punto que la falta de información alcanza semanas e incluso meses.

Con los datos seleccionados, se ha procedido a calcular, para cada uno de los días del año, tanto las temperaturas medias como la mortalidad por todas las causas, así como la provocada por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, las más sensibles a las condiciones atmosféricas, con el fin de definir los correspondientes ritmos anuales de estos parámetros.

Posteriormente, se ha ensayado y comprobado la bondad estadística de los ajustes mediante modelos polinómicos de segundo y tercer orden para constatar la relación entre las temperaturas y las tasas diarias de mortalidad, con el propósito de determinar los umbrales termométricos bajo los que son menores los valores medios de estas tasas, así como su variación con el alejamiento de los mismos.

## 3. ESTACIONALIDAD DE LA MORTALIDAD

La representación gráfica de las temperaturas medias, calculadas a partir de las observaciones termométricas del período 1990-1997 objeto de estudio y de la mortalidad media total, así como la ocurrida entre personas respectivamente mayores y menores de 65 años y la achacable a fallos cardiovasculares y respiratorios por cada millón de habitantes, tras la suavización de unos y otros valores mediante la obtención de las correspondientes medias móviles centradas cada 15 días, que muestra la figura 1, pone claramente de manifiesto que las mayores tasas medias de mortalidad corresponden a los primeros y últimos días del año, que por su pertenencia a la estación invernal, son los más fríos. Aunque tanto los episodios extremadamente fríos como cálidos pueden provocar un incremento de la mortalidad, las tasas de defunciones más elevadas, sobre todo entre personas de edad avanzada y pacientes cardiovasculares, suelen registrarse en invierno (KLONER *et al.*, 1999; VAN ROSSUM *et al.*, 2001), y así ocurre en Barcelona, tal como evidencia la aludida figura, en la que se aprecia un acusado descenso de la mortalidad total, así como de la relativa a personas mayores de 65 años, y la provocada por causas cardiovasculares, desde principios de año hasta finales de marzo y un fuerte incremento a partir de la segunda quincena de noviembre que culmina en las postrimerías del año y, obviamente, enlaza con las elevadas tasas de los primeros días de enero.

La evolución de las curvas representativas de las aludidas tasas de mortalidad total, la registrada entre personas mayores de 65 años y la ocasionada por enfermedades cardiovasculares, contraria a la descrita por las temperaturas medias, resulta menos acusada entre finales de marzo y principios de julio y muestra algunas irregularidades, la más apreciable insinúa un incremento en torno a los primeros días de abril que acaso no sea ajena a la frecuente inestabilidad atmosférica y la sucesión de episodios termométricos de características contrastadas propia del mes central de la primavera. Entre principios de julio y mediados de septiembre, la evolución de estas mismas tres tasas de mortalidad, en contraste con lo que sucede el resto del año, es similar a la de las temperaturas, de manera que describen un máximo secundario a finales de julio y principios de agosto que coincide con el máximo único anual de las temperaturas, y dos mínimos, uno secundario en el inicio del citado período y el principal, precisamente al final del mismo, en la segunda mitad de septiembre. Las olas de calor, obviamente más frecuentes durante los días que registran los máximos rigores termométricos, no deben ser ajenas al incremento relativo de la mortalidad en Barcelona durante los días más cálidos del año. La incidencia de los episodios excepcionalmente cálidos en la mortalidad ha sido objeto de especial atención en múltiples trabajos a lo largo de los últimos lustros, entre los que cabe destacar los dedicados a estudiar el impacto en la salud humana de las olas de calor acaecidas en Estados Unidos los años 1995 (KARL y KNIGHT, 1997; KELLERMANN y TODD, 1996; KUNKEL *et al.*, 1996; SEMENZA *et al.* 1996; CHANGNON *et al.*, 1996) y 1999 (PALECKI *et al.*, 2002). El descenso de la mortalidad en septiembre, al tiempo que las temperaturas inician una evolución decreciente, parece fruto de una concurrencia de dos factores. Por un lado, no suelen suceder en el transcurso del mes episodios termométricos extremos y, por otro, la exacerbación de la mortalidad en verano posiblemente provoque un exceso de defunciones entre personas enfermas, especialmente sensibles al calor, que, en ausencia de tales episodios, acaecerían pocos días o semanas más tarde y constituirían lo que KALKSTEIN (1993) ha denominado muertes anticipadas, lo cual supondría una merma de los óbitos días posteriores a los más calurosos. Tras el mínimo principal de septiembre y, a medida que las temperaturas siguen una clara tendencia decreciente, las tasas de mortalidad acusan una evolución ascendente, muy acusada a lo largo del mes de octubre y un apreciable estancamiento durante la mayor parte de noviembre, hasta que a finales del mismo inician el fuerte incremento, anteriormente aludido, que culmina los días más fríos de diciembre y enero.

La evolución de la mortalidad por enfermedades respiratorias a lo largo del año no difiere mucho de la total, la cardiovascular o la referida a personas mayores de 65 años, pero el relativamente reducido número de personas fallecidas por tales padecimientos y, posiblemente, una menor sensibilidad a los efectos del calor, impiden la definición de un máximo secundario de verano similar al que describen las curvas representativas de estos tres grupos.

Finalmente, las tasas de mortalidad correspondientes a personas menores de 65 años difieren de las precedentes y escasamente apuntan un ligero incremento durante los días más fríos y más cálidos del año.

La evolución de la mortalidad a lo largo del año evidencia, en definitiva, un ritmo estacional muy marcado, con un ostensible máximo principal, coincidente con los meses más fríos de año, y un discreto, pero claro, máximo secundario, sincrónico con los más cálidos, precedido y seguido por dos mínimos similares, aunque ligeramente más acusado el segundo, correspondiente con

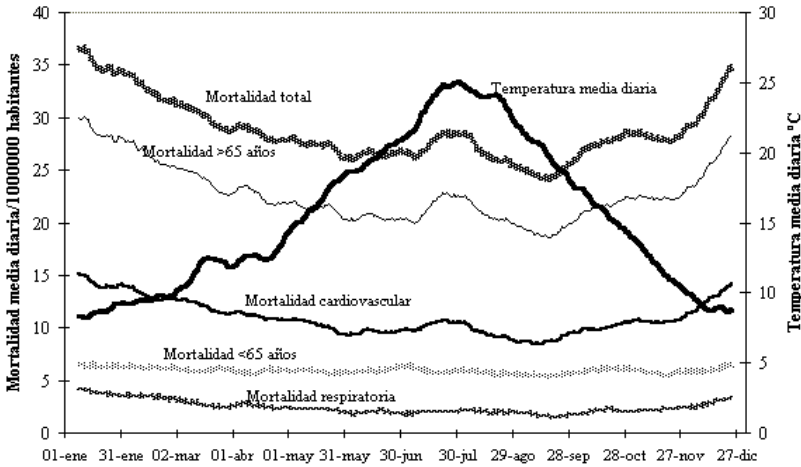


Figura 1: Mortalidad por millón de habitantes y temperatura media diaria calculada a partir de los datos registrados en Barcelona durante el período 1990-1997 (Suavización mediante medias móviles centradas cada 15 días).

el primer mes del otoño. Estos mínimos y máximos, sin embargo, no aparecen definidos en la evolución de la mortalidad entre personas menores de 65 años, que resulta escasamente sensible a la variación de las temperaturas, y tan sólo ligeramente insinuados en la evolución relativa a las defunciones provocadas por causas respiratorias, que, no obstante, alcanzan un valor máximo anual durante los meses de invierno.

#### 4. AJUSTES POLINÓMICOS Y UMBRALES TERMOMÉTRICOS

Las máximas tasas de mortalidad obtenidas para la época más fría del año a partir de la mortalidad diaria total, la debida a afecciones cardiovasculares y la referente a personas mayores de 65, que representan los más importantes grupos de los cinco considerados, y el menor número de defunciones medias diarias calculado para el resto del año sugieren una relación inversa entre las temperaturas y la salud y un descenso de la mortalidad con el incremento de las temperaturas y viceversa, salvo, precisamente, durante los días más cálidos del año. Esto comporta la posible existencia de un umbral termométrico óptimo, a partir del cual tanto un aumento como una disminución de las temperaturas podría resultar relativamente nocivo para la salud y provocar un incremento de la mortalidad. Los modelos de regresión lineal y de regresión de Poisson no parecen aptos para formular una evaluación del impacto de las temperaturas diarias registradas a lo largo del año en el número de óbitos, precisamente debido a la existencia de este umbral, cuya definición, en cambio, resulta posible con la aplicación de los modelos de regresión polinómica. Aunque los modelos de regresión lineal y de Poisson permitan establecer correlaciones estadísticamente significativas, resulta obvia la preferencia por los modelos polinómicos que, además de

la permitir la definición de un umbral de mínima mortalidad, totaliza menores residuos entre los valores observados y los estimados o previstos.

En efecto, los resultados del análisis de regresión polinómica que se incluyen en la tabla 1 ponen de manifiesto la existencia de una indudable relación entre las temperaturas diarias, tanto mínima como media o máxima, y la mortalidad, dado que los valores  $p$  obtenidos en los análisis de variancia de cada uno de los ajustes ensayados son ostensiblemente inferiores a 0,01. Por otro lado, los valores resultantes de la aplicación del test de Durbin-Watson se cifran en valores comprendidos entre 1,40 y 1,95 que permiten descartar la existencia de cualquier autocorrelación significativa en los residuos. Los ajustes polinómicos ensayados son de tercer orden salvo los obtenidos en el análisis de la relación entre las temperaturas y la mortalidad de personas menores de 65 años, en cuyo ajuste ha sido preciso adoptar curvas polinomiales de segundo orden para que los valores  $p$  de los respectivos términos de orden superior se mantuvieran por debajo de 0,01 y fueran significativos a un nivel de confianza del 99 %, claramente sobrepasado en todos los casos. Finalmente, los porcentajes de variabilidad explicada oscilan entre el 10 y el 20 %, excepto precisamente en el caso de los ajustes relativos a la mortalidad entre personas menores de 65 años, que se mantienen por debajo del 1 % y resultan prácticamente despreciables.

A pesar de que la relación entre las temperaturas diarias y la mortalidad en Barcelona esté fuera de dudas, sería aventurado estimar la proporción de fallecimientos provocados por determinados episodios termométricos sin contar con los debidos informes médicos que expresamente indicaran cada uno de los casos de muerte achacables a las temperaturas. Éstas sólo excepcionalmente provocan el fin de la vida de personas adultas y sanas, como puede deducirse tanto de la evolución de la mortalidad entre estas personas a lo largo del año, como del insignificante porcentaje de variabilidad explicada calculado mediante los ajustes polinómicos para el grupo de personas menores de 65 años. En cambio, la variabilidad explicada con relación a quienes superan esta edad puede interpretarse como una manifestación del impacto de las temperaturas en la salud de los ancianos, que, obviamente, constituyen con mucho la máxima proporción de la mortalidad total, cuya respectiva variabilidad depende esencialmente de la existente entre las personas de mayor edad. Por otro lado, la variabilidad explicada entre los fallecidos como consecuencia de enfermedades respiratorias y, sobre todo, cardiovasculares puede entenderse como una consecuencia del impacto o incidencia de las temperaturas diarias en la mortalidad provocada por patologías susceptibles de ser enmarcadas dentro de estos dos amplios géneros. Las temperaturas, en definitiva, parecen incapaces de constituir la única o esencial causa de muerte en Barcelona, sobre todo entre personas menores de 65 años y, en todo caso, se trata de una información no disponible, pero los datos analizados y, particularmente, los porcentajes de variabilidad estimada para los fallecimientos diarios registrados entre quienes superan esta edad y los provocados por afecciones cardiovasculares y respiratorias permiten concebir el papel de las variaciones termométricas en la mortalidad como un factor desencadenante o exacerbante de procesos patológicos con final irreversible, de los que son víctimas principales los ancianos y determinados enfermos crónicos. Incluso cabe suponer que, con cierta frecuencia, coadyuvan en la anticipación de unas muertes que, incluso en condiciones termométricas óptimas, sobrevendrían en breve espacio de tiempo, pero no siempre debe suceder de este modo y, particularmente, muchos de los quebrantos agudos de la salud con resultado de muerte, potencialmente provocados o exacerbados por episodios termométricos extremos, pueden

Tabla 1: Resultados del ajuste polinómico aplicado en la descripción de la relación entre la mortalidad y las temperaturas diarias. (TI=Temperatura mínima; TM=Temperatura media; TX=Temperatura máxima).

Ecuaciones de ajuste polinómico	Valor P en ANOVA	Porcentaje variabilidad explicada	Test Durbin-Watson	Valor P término orden superior
<b>Mortalidad diaria total/millón habitantes (M.TOT mh)</b>				
M.TOT mh= $32,5101 + 0,443492TI - 0,120673TI^2 + 0,0042287TI^3$	0,0000	16,4	1,51	0,0000
M.TOT mh= $31,2992 + 0,968914TM - 0,130339TM^2 + 0,00341831TM^3$	0,0000	18,1	1,54	0,0000
M.TOT mh= $29,9269 + 1,15136TX - 0,109671TX^2 + 0,0022904TX^3$	0,0000	17,8	1,55	0,0000
<b>Mortalidad diaria &gt;65 años/millón habitantes (M&gt;65 mh)</b>				
M>65 mh= $26,1888 + 0,429993TI - 0,112358TI^2 + 0,0039033TI^3$	0,0000	17,0	1,39	0,0000
M>65 mh= $24,9056 + 0,948031TM - 0,123472TM^2 + 0,00320777TM^3$	0,0000	19,0	1,42	0,0000
M>65 mh= $23,6434 + 1,10675TX - 0,10347TX^2 + 0,0021458TX^3$	0,0000	18,7	1,43	0,0000
<b>Mortalidad diaria &lt;65 años/millón habitantes (M&lt;65 mh)</b>				
M<65 mh= $6,58737 - 0,0968255TI + 0,00304886TI^2$	0,0001	0,7	1,95	0,0065
M<65 mh= $6,94866 - 0,116414TM + 0,00296725TM^2$	0,0001	0,7	1,95	0,0030
M<65 mh= $708181 - 0,104833TX + 0,00217047TX^2$	0,0001	0,7	1,95	0,0079
<b>Mortalidad diaria cardiovascular/millón habit. (M.CAR mh)</b>				
M.CAR mh= $13,6396 + 0,165735TI - 0,0649279TI^2 + 0,00234502TI^3$	0,0000	19,3	1,71	0,0000
M.CAR mh= $13,3027 + 0,413577TM - 0,0673076TM^2 + 0,0018226TM^3$	0,0000	20,4	1,73	0,0000
M.CAR mh= $12,5833 + 0,529538TX - 0,0568927TX^2 + 0,001211736TX^3$	0,0000	19,4	1,71	0,0000
<b>Mortalidad diaria respiratoria/millón habitantes (M.RES mh)</b>				
M.RES mh= $2,98285 + 0,138949TI - 0,0261292TI^2 + 0,000822881TI^3$	0,0000	10,2	1,64	0,0000
M.RES mh= $2,74077 + 0,21156TM - 0,0247997TM^2 + 0,0006035TM^3$	0,0000	10,7	1,65	0,0000
M.RES mh= $2,83578 + 0,173208TX - 0,0170202TX^2 + 0,000342952TX^3$	0,0000	10,4	1,65	0,0000

significar un recorte más o menos prolongado de la vida, cuya anticipación siempre es deseable evitar.

Si la falta de datos acerca de los posibles fallecimientos provocados por los avatares termométricos impide determinar la proporción de fallecimientos achacables a los mismos, las ecuaciones obtenidas mediante los ajustes polinómicos anteriormente aludidos permiten establecer ciertas precisiones acerca de las relaciones entre temperaturas diarias y mortalidad. La representación gráfica de la relación entre las temperaturas máximas diarias y la mortalidad total por cada millón de habitantes y su ajuste mediante una curva polinomial de tercer orden trazada a partir de la correspondiente ecuación indicada en la tabla 1 sugiere que las menores tasas relativas de mortalidad por todas las causas se registran los días en que las temperaturas medias se sitúan en torno a 21°C, mientras que todo alejamiento de este valor termométrico diario comporta un aumento relativo de la mortalidad (figura 2). Sin embargo, mientras que la mortalidad no deja de crecer a medida que las temperaturas alcanzan valores progresivamente superiores a 21°C, el incremento de las defunciones al tiempo que las temperaturas diarias descienden por debajo de este umbral parece cesar cuando se sitúan por debajo de 5°C, e incluso el extremo de la curva de ajuste polinómico

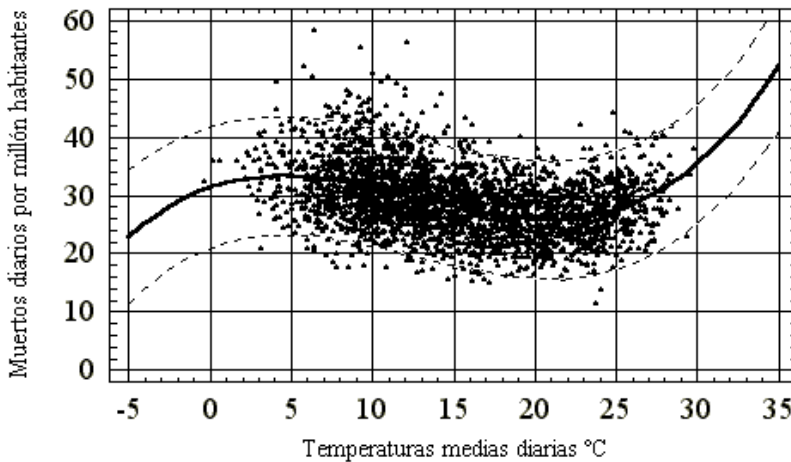


Figura 2: Relación entre la mortalidad por millón de habitantes y la temperatura media diaria. Ajuste mediante una curva polinomial de tercer orden con indicación de los límites de predicción.

insinúa un decrecimiento, que, como se comprobará más adelante, es fruto de un cierto efecto o ilusión óptica carente de significación estadística, pero capaz de imprimir a la propia curva de ajuste una forma de S dispuesta en sentido horizontal. Si se prescinde de su extremo inferior, la curva polinomial difiere poco de las curvas de ajuste definidas en distintos trabajos dedicados a estudiar la relación de la mortalidad total o la provocada por una determinada patología con las temperaturas, cuyas formas son descritas por sus autores como semejantes a la J (CURRIERO *et al.*, 2002), la V (PAJARES *et al.*, 1997) o la U (PAN *et al.*, 1995). Todas estas formas coinciden en destacar la existencia de un umbral termométrico de menor mortalidad y un incremento creciente del número de óbitos tanto a medida que las temperaturas descienden por debajo de este umbral, como cuando alcanzan valores de superior cuantía.

La ecuación polinomial de tercer orden adoptada en el análisis de la relación entre la mortalidad diaria total y las temperaturas medias permite establecer dos umbrales termométricos especialmente significativos, cifrados en 5 y 21 °C, que coinciden con las dos inflexiones de la curva de ajuste que le confieren la aludida forma de S. Las ecuaciones polinomiales adoptadas en el análisis de la relación entre las temperaturas y la mortalidad entre mayores de 65 años, así como la achacada a fallos cardiovasculares y respiratorios permitirían trazar curvas similares a la que ajusta la mortalidad diaria total y definir unos umbrales prácticamente coincidentes. La ecuación de segundo orden adoptada en el ajuste de los fallecidos menores de 65 años determina el trazado de una curva que muestra una única inflexión y la definición de un umbral termométrico coincidente con el mayor de los dos establecidos para los restantes grupos de mortalidad considerados. Con relación a los susodichos umbrales, se ha procedido a la distinción de cinco clases de días: los que registraron una temperaturas medias inferiores a 5°C correspondientes al primero de ambos umbrales, los que



sobrepasaron los 21°C, equivalentes al valor del segundo, los que alcanzaron temperaturas comprendidas respectivamente entre 4 y 6°C, es decir próximos al umbral inferior, entre 5 y 21°C, equivalentes a los valores de ambos umbrales, y entre 20 y 22°C, semejantes por tanto al umbral de superior cuantía. Los coeficientes de correlación y valores p calculados para cada uno de los distintos grupos de mortalidad considerados entre los respectivos números de defunciones diarias y las temperaturas medias correspondientes a los días incluidos en cada una de las cinco clases de días establecidos con relación a ambos umbrales, que se indican en la tabla 2, ponen de manifiesto, en primer lugar, la existencia de una relación estadística altamente significativa entre la mortalidad y las temperaturas diarias, de signo negativo los días en que éstas se cifraron entre 5 y 21°C, y positivo aquellos otros en que alcanzaron valores de superior cuantía. El descenso de la mortalidad con el incremento de las temperaturas entre 5 y 21°C que tales coeficientes y valores p comportan es significativo, con un nivel de confianza superior al 99 % en todos los supuestos examinados, si bien el valor absoluto del coeficiente obtenido para el grupo de personas menores de 65 años es indicativo de la menor sensibilidad a los efectos de las temperaturas en su salud de quienes no han cumplido esta edad. El descenso de la mortalidad diaria por millón de habitantes y cada grado de incremento de la temperatura media entre 5 y 21°C estimado por regresión se cifra en un total de 0,56 personas, supone una reducción de 0,53 fallecimientos diarios entre mayores de 65 años y 0,03 entre los de menor edad, así como una disminución, siempre por millón de habitantes, de 0,35 y 0,11 muertes respectivamente provocadas por enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Por el contrario, todo ascenso en un grado de las temperaturas medias diarias por encima de 21°C, al menos hasta los casi 30°C alcanzados como máximo durante el período estudiado, comporta un incremento de la mortalidad media por cada millón de habitantes de 0,78 personas del total; de 0,68 y 0,10 entre los fallecidos mayores y menores de 65 años respectivamente y de 0,42 de las causas de muerte por enfermedades cardiovasculares y de 0,10 de las provocadas por patologías respiratorias. El nivel de confianza del coeficiente entre la mortalidad registrada en menores de 65 años y las temperaturas medias diarias es superior al 95 %, pero no al 99 % como sucede con los calculados para los restantes grupos de población considerados y, por tanto, parece evidente que quienes no han alcanzado esta edad son menos vulnerables que otros a los efectos de las temperaturas elevadas, como también son menos sensibles a los posibles impactos de los descensos de las temperaturas medias por debajo de 21°C las personas que constituyen el grupo de los menores de 65 años que los grupos formados parcial o totalmente por quienes los han superado, tal como anteriormente se ha señalado.

En cambio, los coeficientes de correlación entre la mortalidad y las temperaturas correspondientes a los días con temperaturas inferiores a 5°C, aunque negativos, carecen de significación estadística, incluso a un nivel de confianza del 90 %, como evidencian los respectivos valores p. La falta de correlación estadísticamente significativa entre la mortalidad y las temperaturas medias diarias referida a los días en que éstas no sobrepasan el aludido umbral de 5°C resulta paradójica por sugerir una atenuación o interrupción del incremento de la mortalidad con el descenso de las temperaturas, precisamente cuando éstas se cifran en los valores medios extremadamente más bajos, que contrasta con la correlación altamente significativa, de signo negativo, entre la mortalidad y las temperaturas los días en que éstas alcanzan valores comprendidos entre 5 y 21°C, lo cual comporta un aumento del número de fallecimientos a medida que las temperaturas descienden dentro de este intervalo de valores termométricos medios. La atenuación del incremento de los efectos negativos

Tabla 2: Coeficientes de correlación ( $r$ ) y valores  $p$  calculados a partir de la mortalidad total, la registrada entre personas mayores y menores de 65 años, la provocada por enfermedades cardiovasculares o respiratorias y las temperaturas medias diarias para distintos intervalos de estas temperaturas (Período 1990-1997).

Mortalidad diaria por millón de habitantes	Temperaturas medias diarias									
	<5°C		4-6°C		5-21°C		20-22°C		>21°C	
	$r$	$p$	$r$	$p$	$r$	$p$	$r$	$p$	$r$	$p$
Total	-0,095	0,462	-0,047	0,685	-0,400	0,000	0,018	0,784	0,310	0,000
Mayores de 65 años	-0,036	0,783	-0,023	0,839	-0,412	0,000	-0,013	0,845	0,301	0,000
Menores de 65 años	-0,180	0,162	-0,085	0,459	-0,075	0,000	0,071	0,272	0,088	0,030
Cardiovascular	-0,193	0,132	0,103	0,367	-0,424	0,000	-0,023	0,727	0,295	0,000
Respiratoria	-0,019	0,883	-0,007	0,952	-0,291	0,000	-0,028	0,661	0,114	0,005

de las temperaturas extremadamente bajas en la salud a partir de un determinado umbral, ha sido observada en un estudio reciente acerca del número de emergencias hospitalarias en la ciudad japonesa de Fukuoka, en el que sus autores constatan un incremento drástico de las admisiones urgentes en centros clínicos por enfermedades cerebrovasculares relacionada con el descenso de las temperaturas por debajo de 12°C, hasta alcanzar una meseta a 4°C (MAKIE *et al.*, 2002). La merma o interrupción en el aumento de la mortalidad en Barcelona con el descenso de las temperaturas cuando se sitúan por debajo de 5°C, o del número de emergencias en Fukuoka cuando no alcanzan los 4°C no debe significar que los impactos negativos de los descensos termométricos a partir de unos determinados umbrales termométricos relativamente fríos dejen de constituir un riesgo potencialmente creciente con sucesivas disminuciones de las temperaturas. Posiblemente dos hechos condicionan los resultados de los cálculos que enmascaran este riesgo. En primer lugar, las temperaturas extremadamente bajas suelen registrarse tras algunas jornadas con temperaturas menos frías pero capaces de provocar muertes o emergencias hospitalarias anticipadas y, en consecuencia, una reducción de las que, en otro caso, eventualmente, tendrían lugar días después. Por otro lado, la previsión o inminencia de olas de frío o fuertes descensos termométricos motiva la adopción de medidas preventivas entre las personas más sensibles a los avatares atmosféricos, las enfermas y las de mayor edad, muchas de las cuales procurar protegerse en mayor o menor medida de las temperaturas extremadamente bajas cuando advierten y son conscientes de su peligro.

Por otro lado, la total falta de significación estadística de los coeficientes de correlación entre la mortalidad y las temperaturas los días en que éstas se sitúan entre 4 y 6°C y entre 20 y 22°C, es decir próximas a los susodichos umbrales de 5 y 21°C, es coherente con el acaecimiento de temperaturas próximas a aquéllas que determinan un cambio de tendencia en la relación entre la mortalidad y las temperaturas.

Finalmente, conviene no olvidar que los antedichos umbrales han sido calculados a partir de datos registrados en el observatorio de Fabra, cuyas temperaturas medias, dada la altitud de su emplazamiento, posiblemente representen valores inferiores en unos 2°C a los correspondientes a la

mayor parte de la ciudad de Barcelona, carente de series termométricas válidas para el análisis de su relación con la mortalidad diaria.

## 5. CONCLUSIÓN

La evolución de la mortalidad diaria a lo largo del año en Barcelona muestra un ritmo estacional claro, con un máximo principal coincidente con los meses más fríos del año y un máximo secundario que tiene lugar en los dos meses más cálidos, julio y agosto, precedido y seguido este último de dos mínimos relativos, escasamente mejor diferenciado el que se centra en la segunda mitad de septiembre que el localizado a finales de junio y principios de julio.

La aplicación de funciones polinómicas permite establecer dos umbrales termométricos de referencia en el análisis de las relaciones entre las temperaturas y la mortalidad diaria registrada en Barcelona

## 6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado en el marco del grupo consolidado 2001SGR-00040 (Generalitat de Catalunya). Nuestro agradecimiento al *Institut Municipal de Salut* de Barcelona por la cesión de los datos referentes a la mortalidad diaria y a D. Antonio Gázquez por habernos facilitado la obtención de las series termométricas diarias del observatorio de Fabra.

## 7. REFERENCIAS

- BALBUS, J.M. y WILSON, M.L. (2000): *Human health and global climate change*. The Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 43 pp.
- BALLESTER, F. (1996): Meteorología y salud. La relación entre la temperatura ambiental y la mortalidad. *Revista Española de Salud Pública*, 70, pp. 251-259.
- BART, J.L. y BOURQUE, D.A. (1995): Acknowledging the weather-health link. *Canadian Medical Association Journal*, 153 (7), pp. 941-944.
- BECKER, S. y WENG, S. (1998): Seasonal patterns of deaths in Matlab, Bangladesh. *International Epidemiological Association*, 27, pp. 814-823.
- CHANGNON, S.A., KUNKEL, K.E. y REINKE, B.C. (1996): Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (7), pp. 1497-1506.
- COCKBURN, S. y SALINGER, J. (2001): Does climate affect mortality in Auckland?. *Water & Atmosphere*, 9 (3), pp. 26-27.
- CURRIERO, F.C. *et al.* (2002): Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, 155 (1).
- DONALDSON, G.C. y KEATINGE, W.R. (2002): Excess winter mortality: influenza or cold stress? Observational study. *British Medical Journal*, 324, pp. 89-90.
- GEMMELL, I. *et al.* (2000): Seasonal variation in mortality in Scotland. *International Journal of Epidemiology*, 29, pp. 274-279.
- HAINES, A., EPSTEIN, P.R. y McMICHAEL, A.J. (1993): Global health watch: monitoring impacts of environmental change. *The Lancet*, 342, pp. 1464-1469.

- IPCC (2001): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Third Assessment Report. Working Group II*. Cambridge University Press.
- KALKSTEIN, L.S. (1988): *The impacts of predicted climate changes upon human mortality*. Thornthwaite Ass. Lab. Climatology, Univ. Delaware, Delaware, 110 pp.
- KALKSTEIN, L.S. (1993): Health and climate change. Direct impacts in cities. *The Lancet*, 342, pp. 1397-1399.
- KALKSTEIN, L.S. y VALIMONT, K.M. (1987): Climate effects on human health. En TIRPAK, D. (Ed): *Potential effects of Future climate Changes on Forest and Vegetation, Agriculture, Water Resources and Human Health*. Environmental Protection Agency, Washington, pp. 122-152.
- KARL, T.R. y KNIGHT, R.W. (1997): The 1995 Chicago heat wave: how likely is a recurrence?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 (6), pp. 1107-1119.
- KELLERMANN, A.L. y TODD, K.H. (1996): Killing Heat. *The New England Journal of Medicine*, 335 (2), pp. 126-127.
- KLONER, R.A., POOLE, K. y PERRITT, R.L. (1999): When Throughout the Year Is Coronary Death Most Likely to Occur?. *Circulation*, 100, pp. 1630-1634.
- KOVATS, R.S. *et al.* (2000): *Climate Change and Human Health: Impact and adaptation*. World Health Organization. European Centre for Environment and Health, Geneva, Roma, 48 pp.
- KUNKEL, K.E. *et al.* (1996): The July 1995 heat wave in the Midwest: a climatic perspective and critical weather factors. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (7), pp. 1507-1518.
- LERCHL, A. (1998): Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *International Journal of Biometeorology*, 42, pp. 84-88.
- MAKIE, T. *et al.* (2002): Association of meteorological and day-of-the-week factors with emergency hospital admissions in Fukuoka, Japan. *International Journal of Biometeorology*, 46 , pp. 38-41.
- MARTENS, P. (1998): *Health and Climate Change*. Earthscan, Londres, 176 pp.
- McGREGOR, G.R. (2000): Climate Change, Climate extremes and Health. *Climate Change and Health in Europe*, Roma, World Health Organization. Regional Office for Europe. 1-4.
- McMICHAEL, A.J. *et al.* (Eds) (1996): *Climate Change and Human Health*. World Health Organization, Geneva, 297 pp.
- PAJARES, M.S. *et al.* (1997): Mortalidad diaria en la comunidad de Madrid (1986-1991) para el grupo de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire. *Revista Española de Salud Pública*, 71 (2), pp. 149-160.
- PALECKI, M.A., CHANGNON, S.A. y KUNKEL, K.E. (2002): The nature and impacts of the July 1999 heat wave in the Midwestern United States: Learning from lessons of 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82 (7), pp. 1353-1367.
- PAN, W.H., LI, L.A. y TSAI, M.J. (1995): Temperature extremes and mortality from coronary hear disease and cerebral infarction in elderly Chinese. *The Lancet*, 345 (8946), pp. 353-355.
- PELL, J.P. y COBBE, S.M. (1999): Seasonal variations in coronary heart disease. *Q. J. Med.*, 92 , pp. 689-696.
- SEMENZA, J.C. *et al.* (1996): Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *The New England Journal of Medicine*, 335 (2), pp. 84-90.
- SETO, T.B., *et al.* (1998): Seasonal variation in coronary artery disease mortality in Hawaii: observational study. *British Medical Journal*, 316, pp. 1946-1947.
- VAN ROSSUM, C.T.M., *et al.* (2001): Seasonal variation in cause-specific mortality: Are there high-risk groups? 25-year follow-up of civil servants from the first Whitehall study. *International Journal of Epidemiology*, 30, pp. 1109-1116.