

**INFLUENCIA DEL TIEMPO Y DE LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA SOBRE ENFERMEDADES DE LOS SISTEMAS
CIRCULATORIO Y RESPIRATORIO EN CASTILLA-LA
MANCHA**

FEDERICO MONSALVE IRUSTA

**MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA PARA LA
CONSECUCIÓN DEL TÍTULO DE DOCTOR**

Dirigida por los Dres. D. Clemente Tomás Sánchez
y D. Roberto Fraile Laiz

PROGRAMA DE DOCTORADO: **ECOLOGÍA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL**
DEPARTAMENTO: **QUÍMICA Y FÍSICA APLICADAS**
ÁREA DE CONOCIMIENTO: **FÍSICA APLICADA**



Universidad de León
Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales

León, 2011



INFORME DEL DIRECTOR DE LA TESIS¹

Los Dres. D. Clemente Tomás Sánchez y D. Roberto Fraile Laiz, como Directores² de la Tesis Doctoral titulada “**Influencia del tiempo y de la contaminación atmosférica sobre enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio en Castilla-La Mancha**”, realizada por D. Federico Monsalve Irusta en el programa de doctorado *Ecología y Tecnología Ambiental*, informan favorablemente el depósito de la misma, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmamos, en León a ____ de _____ de _____

Fdo. Dr. D. Clemente Tomás Sánchez

Fdo. Dr. D. Roberto Fraile Laiz

¹ Solamente para las tesis depositadas en papel.

² Si la Tesis está dirigida por más de un Director tienen que constar los datos de cada uno y han de firmar todos ellos.



ADMISIÓN A TRÁMITE DE LA TESIS DOCTORAL³

El órgano responsable del programa de doctorado *Ecología y Tecnología ambiental* en su reunión celebrada el día ____ de _____ de _____ ha acordado dar su conformidad a la admisión a trámite de lectura de la Tesis Doctoral titulada “**Influencia del tiempo y de la contaminación atmosférica sobre enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio en Castilla-La Mancha**”, dirigida por el Dr. D. Clemente Tomás Sánchez y el Dr. D. Roberto Fraile Laiz, elaborada por D. Federico Monsalve Irusta, y cuyo título en inglés es el siguiente “*Influence of weather and air pollution on diseases of the circulatory and respiratory systems in Castilla-La Mancha*”.

Lo que firmo, en León a ____ de _____ de _____.

El Secretario,

Fdo. Olegario Martínez Morán

Vº Bº

El Director del Departamento/
Presidente de la Comisión Académica,

Fdo.: Javier Martín Villacorta

³ Solamente para las tesis depositadas en papel.

Agradecimientos

Al Dr. D. Clemente Tomás Sánchez, Profesor Titular del Departamento de Física General y de la Atmósfera de la Universidad de Salamanca, por su continua ayuda en la dirección de este trabajo. Y por su paciencia.

Al Dr. D. Roberto Fraile Laiz, profesor Titular del Departamento de Química y Física aplicadas de la Universidad de León, por su labor como Tutor de Doctorado y Codirector de la presente Memoria de tesis doctoral.

Al Dr. D. Javier Martín Villacorta, Director del Departamento de Química y Física aplicadas de la Universidad de León, por las facilidades dadas para llevar a cabo esta investigación.

A la Dra. D^a Covadonga Palencia Coto, profesora del Departamento de Química y Física aplicadas de la Universidad de León, y al Dr. D. Emilio Ibáñez Carrión, así como a D^a Purificación Arias del Real, por sus orientaciones en el tratamiento estadístico e informático del presente trabajo.

A D. Sergio Fernández González, por sus aportaciones en la parte teórica de esta Memoria.

A la Consejería de Salud y Bienestar Social de la Junta de Castilla-La Mancha, por su colaboración en este trabajo.

Y a todos los que en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de León desempeñan su trabajo en el Departamento de Química y Física aplicadas, por su buen hacer, su disponibilidad, y tantas cosas más.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
RESUMEN.....	V
ACRÓNIMOS.....	XIII

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1

1.1. ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES EN BIOMETEOROLOGÍA	1
1.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS Y CONTAMINANTES QUE INFLUYEN EN LA SALUD..	7
1.2.1. Variables meteorológicas	7
1.2.2. Contaminantes atmosféricos.....	8
1.3. ENFERMEDADES DE LOS SISTEMAS CIRCULATORIO Y RESPIRATORIO	13
1.4. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO	16
1.4.1. Clima de Castilla-La Mancha.	16
1.4.2. Población y hospitales	19
1.5. OBJETIVOS	24
1.6. ESTRUCTURA DE ESTA MEMORIA.....	25
1.7. BIBLIOGRAFÍA.....	27

CAPÍTULO 2: TIPOS DE TIEMPO 35

2.1. TIPOS DE TIEMPO SUBJETIVOS	35
2.2. TIPOS DE TIEMPO OBJETIVOS	37
2.3. METODOLOGÍA.....	39
2.4. CARACTERÍSTICAS DE CADA TIPO DE TIEMPO	43
2.5. BIBLIOGRAFÍA.....	62

CAPÍTULO 3: MORBILIDAD	65
3.1. INTRODUCCIÓN	65
a) Aparato Circulatorio	66
b) Aparato Respiratorio	69
3.2. MATERIAL Y MÉTODOS	73
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
3.3.1. Enfermedades del aparato Circulatorio	75
3.3.1.1. Análisis estadístico.....	75
a) Valores totales	76
b) Valores estacionales	77
c) Valores mensuales.....	78
d) Índices de Admisión.....	80
3.3.1.2. Morbilidad del aparato Circulatorio según tipos de tiempo	81
a) Clasificación diaria de los tipos de tiempo.....	81
b) Características meteorológicas de las situaciones dominantes y probabilidades condicionales	84
c) Días de CAI altos: estudio de desfases y de secuencias de tipos de tiempo....	90
3.3.2. Enfermedades del aparato Respiratorio	95
3.3.2.1. Análisis estadístico.....	95
a) Valores totales	95
b) Valores estacionales	96
c) Valores mensuales.....	96
d) Índices de Admisión.....	98
3.3.2.2. Morbilidad del aparato Respiratorio según tipos de tiempo.....	100
a) Clasificación diaria por tipos de tiempo.....	100
b) Características meteorológicas de las situaciones dominantes y probabilidades condicionales.	103
c) Días de RAI altos: estudio de desfases y de secuencias de tipos de tiempo..	106
3.4. CONCLUSIONES	111
3.5. BIBLIOGRAFÍA.....	113
 CAPÍTULO 4: MORTALIDAD	 121
4.1. INTRODUCCIÓN	121
4.2. DEFINICIONES	127
a) H (Humidex)	127
b) ET (Effective Temperature).....	128
c) WCI (Wind Chill Index)	129
d) RSI (Relative Strain Index)	129
e) WBGT (Wet Bulb Global Temperature).....	130
f) NET (Net Effective Temperature)	130
g) AT (Apparent Temperature).....	131

4.3. MATERIAL Y MÉTODOS	132
4.4. RESULTADOS.....	132
4.4.1. Datos estadísticos.....	132
4.4.2. Sistema Circulatorio	135
a) H (Índice <i>Humidex</i>)	135
b) ET (Índice <i>Effective Temperature</i>)	136
c) WCI (Índice <i>Wind Chill Index</i>).....	138
d) RSI (Índice <i>Relative Strain Index</i>).....	138
e) WBGT (Índice <i>Wet Bulb Global Temperature</i>).....	139
f) NET (Índice <i>Net Effective Temperature</i>)	141
g) AT (Índice <i>Apparent Temperature</i>).....	141
4.4.3. Sistema Respiratorio	143
a) H (Índice <i>Humidex</i>)	143
b) ET (Índice <i>Effective Temperature</i>)	143
c) WCI (Índice <i>Wind Chill Index</i>).....	143
d) RSI (Índice <i>Relative Strain Index</i>).....	145
e) WBGT (Índice <i>Wet Bulb Global Temperature</i>).....	145
f) NET (Índice <i>Net Effective Temperature</i>)	145
g) AT (Índice <i>Apparent Temperature</i>).....	145
4.5. DISCUSIÓN	148
4.6. MORTALIDAD Y TIPOS DE TIEMPO: SECUENCIAS DE MAYOR INCIDENCIA	152
4.7. CONCLUSIONES	157
4.8. BIBLIOGRAFÍA.....	159
CAPÍTULO 5: CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN RELACIÓN CON LA MORTALIDAD Y LOS ÍNDICES.....	165
5.1. INTRODUCCIÓN	165
5.2. MATERIAL Y MÉTODOS	171
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	173
5.4. CONCLUSIONES	195
5.5. BIBLIOGRAFÍA.....	197
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	205
6.1. CONCLUSIONES	205
6.2. PERSPECTIVAS	210

RESUMEN

El estudio de la influencia del medio ambiente sobre la salud ha adquirido en las últimas décadas una relevancia creciente gracias a los avances de la Biometeorología humana, ciencia de carácter interdisciplinar, en la que se relacionan procesos de la Biología, la Física, la Química, y la Medicina.

Una línea concreta de investigación en la Biometeorología es el estudio de las repercusiones que tienen las variaciones de las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos en la morbilidad (número de personas que ingresan en un centro médico en un lugar y periodo de tiempo determinados) y en la mortalidad (número de personas que mueren en un lugar y periodo de tiempo determinados), según las distintas patologías, grupos de pacientes, etc.

En los últimos años, además de la influencia que las diferentes variables meteorológicas presentan sobre la morbilidad y mortalidad, los

episodios de altos niveles de concentración de contaminantes atmosféricos también han sido objeto de numerosos estudios.

Los diversos aspectos abordados en esta Memoria tienen como fin principal la determinación y caracterización de las relaciones existentes entre las variaciones de morbilidad y mortalidad diarias registradas en las provincias que componen la Comunidad de Castilla-La Mancha en el periodo 2000-2006, y diferentes variables atmosféricas/contaminantes gaseosos. Para ello se han seleccionado dos grandes tipos de enfermedades (cardiovasculares y respiratorias), que se han diagnosticado en pacientes de diferentes grupos de edad.

Los objetivos de la investigación son:

1) Determinar las situaciones meteorológicas dominantes durante el periodo de estudio y analizar sus características.

2) Evaluar la importancia relativa de los tipos de tiempo dominantes durante los días con números elevados de admisiones hospitalarias, y con desfases de uno, dos y tres días.

3) Investigar las secuencias de tipos de tiempo en dos días consecutivos que ocasionan alta morbilidad.

4) Investigar las asociaciones de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias con varios Índices térmicos utilizados en la práctica biometeorológica. Asimismo, estudiar los días de mayor mortalidad y su dependencia con los tipos de tiempo.

5) Estudiar la relación de las variables meteorológicas y de los Índices meteorológicos con los contaminantes atmosféricos.

En lo referente al **primer** objetivo, para la morbilidad por enfermedades del sistema Circulatorio, se realizó en primer lugar un análisis estadístico, con la finalidad de obtener las series de datos más adecuadas para el trabajo posterior, y un Análisis de Componentes Principales (ACP) a las variables atmosféricas para reducir los datos de todas las provincias en una única serie. Análogo trabajo se efectuó con los datos del sistema Respiratorio.

Las situaciones dominantes de mayor frecuencia relativa fueron, en el periodo cálido, la circulación del Nordeste, NE (18,1%), y las situaciones anticiclónicas, A (16,9%), en tanto que durante el periodo frío, fue A (29,2%). Realizado el mismo análisis para la morbilidad por patologías del sistema Respiratorio, los resultados fueron A (38,1%) durante el periodo invernal, y NE (11,0%) y A (24,7%) en primavera.

En cuanto al **segundo** objetivo, para las admisiones relacionadas con patologías del sistema Circulatorio, resalta, en los casos de sucesos extremos, esto es, $CAI > 150$ (CAI, Índice de admisiones por enfermedades del aparato Circulatorio), la importancia relativa que tienen los tipos de tiempo E, NW, y A para el periodo cálido y el E en el frío, así como el W para sucesos de $CAI > 125$ o más, para el cálido, y los E y W para el frío. En cuanto a los ingresos relacionados con enfermedades del sistema Respiratorio, hay que señalar la importancia relativa de los tipos SW, A, y el tipo híbrido anticiclónico del Suroeste, (HASW), para sucesos extremos, esto es, $RAI > 150$ (RAI, Índice de admisiones por enfermedades del aparato Respiratorio) en invierno, sin diferencias destacables en el caso de la primavera. Para $RAI > 125$, son relevantes los tipos E, SE y A en invierno, así como W, C y A en primavera.

En el periodo cálido, el CAI se encuentra por debajo de 100 para 0, 1, 2 y 3 días de desfase cuando tienen lugar las situaciones NE, N y HAN. En cambio, el CAI supera el valor 100 para 0, 1, 2 y 3 días de desfase, cuando tienen lugar las situaciones W, A, y HAW, con la salvedad de que, para el tipo A y lag = 0, el CAI vale 100.

En cuanto al periodo frío, los valores del CAI son siempre inferiores a 100 para 1, 2 y 3 días de desfase para el tipo E y W, excepto con lag = 0. Sin embargo, el CAI iguala o supera el valor medio para la situación A cuando los desfases son de 0, 1, 2, y 3 días.

En invierno el RAI es inferior a la media en los tipos NE, SE, W y C para desfases de 0, 1, 2 y 3 días, y superior a la media para desfases de 0, 1, 2, y 3 días en el tipo A. En primavera los tipos SW y A dan asimismo valores del RAI superiores a la media en el mismo día y posteriores (en el caso del tipo de tiempo SW el valor del RAI es 100 para un desfase de tres días), mientras que el tipo N es siempre inferior a la media.

Respecto al **tercer** objetivo, tiene una notable importancia la persistencia de las situaciones NE-NE, A-A y N-N para las admisiones por enfermedades del sistema Circulatorio, así como las A-A para las del Respiratorio.

Ciertas secuencias de tipos de tiempo originan elevados aumentos por encima de la media de admisiones en patologías de ambos sistemas, como es el caso de las secuencias NE-HANE (135) y E-E (131) en el caso de enfermedades del aparato Circulatorio durante el periodo cálido, y W-A (128) y A-HASW (127) en el periodo frío. Asimismo destacan por el mismo motivo las secuencias A-A (137) y A-HASW (154) en el caso de enfermedades del aparato Respiratorio durante el Invierno, así como A-A (125) en la Primavera.

En lo que respecta al **cuarto** objetivo, tras un estudio estadístico previo de carácter descriptivo, se investigó la asociación de series promediadas mensuales regionales de mortalidad con siete Índices meteorológicos. Los resultados obtenidos son bastante parecidos, tanto por fallos del aparato Circulatorio (entre 0,521 y 0,543) como del Respiratorio (entre 0,609 y 0,629). Las expresiones analíticas de los Índices son bastante diferentes, aun cuando todos incluyan la temperatura en su fórmula. Sin embargo el Índice H (*Humidex*) no incluye la velocidad del viento, ni tampoco lo hace WBGT (*Wet Bulb Global Temperature*) ni RSI (*Relative Strain Index*). Todo parece indicar que la temperatura podría ser un factor determinante de la importancia de los Índices en mayor proporción que otros.

Los días de mayor incidencia de la mortalidad se concentran en época fría: 6 de 9 para enfermedades del aparato Circulatorio, y 9 de 10 para enfermedades del Respiratorio.

En cuanto a los días de mayor incidencia de la mortalidad por patologías del sistema Circulatorio, puede concluirse que en todos los casos hay repetición de tipos de tiempo en días consecutivos, como los SW (una secuencia de cinco días consecutivos), N (dos secuencias de tres días consecutivos) y HASW (una secuencia de cuatro días consecutivos). Las secuencias de dos días, como mínimo, de tipos de tiempo como N, SW, HASW, HAW y A, son las que dan la mayoría de los días de máxima mortalidad aquí estudiados. En particular, el SW adquiere particular relevancia en este estudio, ya que solamente aparece 97 días en el cómputo total del periodo frío, lo que equivale a un 7,6%, en tanto que aparece un 20% del total de días de máxima mortalidad.

Las alternancias más importantes son no direccional-híbrido anticiclónico o direccional-híbrido anticiclónico. Las situaciones más frecuentes resultaron ser N, SW, HASW, HAW y A.

Los días de mayor número de defunciones por enfermedades del aparato Respiratorio corresponden a los tipos HANE, N, NE, E, SW, W, C, A, HAN, HASW, HAW y HANW que ya aparecieron en el Circulatorio. Pero además son nuevos: SE, S, NW, HCN, HCNE, HCSE, HCSW, y HASE.

Al igual que sucede con enfermedades del sistema Circulatorio, se aprecian para las del Respiratorio secuencias del mismo tipo en los días anteriores, siendo la más representativa la de cinco días consecutivos que registra el tipo A.

El **quinto** objetivo se abordó mediante el Análisis de Componentes Principales. Dicha técnica aplicada a los datos de mortalidad, contaminantes y variables meteorológicas por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio en Castilla-La Mancha permite lograr un primer modelo de dos factores. En el caso del sistema Circulatorio, el primer factor, que explica un 34,7% de la varianza, agrupa la temperatura, el ozono y la radiación. El segundo, que explica un 31,8% de la varianza, agrupa la mortalidad, todos los contaminantes, la presión y la humedad relativa. Similares resultados se obtienen para el sistema Respiratorio.

El empleo de Índices biometeorológicos junto con los contaminantes en dicho Análisis de Componentes Principales mejora los resultados, ya que se obtienen, asimismo, dos factores. Para el sistema Circulatorio el primer factor, que explica un 38,2% de la varianza, agrupa el ozono y los Índices, en tanto que el segundo, que explica el 34,6% de la varianza,

agrupa la mortalidad y los contaminantes. Los resultados son similares en el sistema Respiratorio.

ACRÓNIMOS

A:	Tipo de tiempo Anticiclónico
AB:	Albacete
ACP:	Análisis de Componentes Principales
ANOVA:	Análisis de la varianza
APHEA:	<i>Air Pollution and Health: European Approach</i>
AT:	<i>Apparent Temperature</i>
C:	Tipo de tiempo Ciclónico
CAI:	Índice de Admisión por enfermedades del aparato Circulatorio
CIE-10	Clasificación Internacional de Enfermedades, 10ª versión
CMAJ:	<i>Canadian Medical Association Journal</i>
CR:	Ciudad Real
CU:	Cuenca
DANA:	Depresión aislada de niveles altos

D-W:	Durbin-Watson
E:	Tipo de tiempo Este
EPA:	<i>Environmental Protection Agency</i>
ET:	<i>Effective Temperature</i>
F:	Flujo total
GU:	Guadalajara
H:	Humidex
HAE:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Este
HAN:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Norte
HANE:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Nordeste
HANW:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Noroeste
HAS:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Sur
HASE:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Sureste
HASW:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Suroeste
HAW:	Tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Oeste
HCE:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Este
HCN:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Norte
HCNE:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Nordeste
HCNW:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Noroeste
HCS:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Sur
HCSE:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Sureste

HCSW:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Suroeste
HCW:	Tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Oeste
HI:	<i>Heat Index</i>
HMO:	<i>Health Maintenance Organization</i>
HR:	Humedad relativa
I:	Invierno
ICD:	<i>International Classification of Diseases</i>
INE:	Instituto Nacional de Estadística
IPCC:	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRI:	<i>International Research Institute for Climate Prediction</i>
KMO:	Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin
LAG:	Desfase de días
N:	Tipo de tiempo Norte
NE:	Tipo de tiempo Nordeste
NET:	<i>Net Effective Temperature</i>
NW:	Tipo de tiempo Noroeste
O:	Otoño
PET:	Índice de temperatura fisiológica equivalente
PHEWE:	<i>Assessment and prevention of acute health effects and weather conditions in Europe</i>
PM2,5:	Partículas de tamaño menor de 2,5 micrómetros
PM10:	Partículas de tamaño menor de 10 micrómetros

PMV:	<i>Predicted Mean Vote</i>
Pr:	Primavera
Rad:	Radiación
RAI:	Índice de Admisión por enfermedades del aparato Respiratorio
RSI:	<i>Relative Strain Index</i>
S:	Tipo de tiempo Sur
SE:	Tipo de tiempo Sureste
SF:	Flujo del Sur
SPSS:	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SW:	Tipo de tiempo Suroeste
T:	Temperatura
TO:	Toledo
TT:	Tipo de tiempo
UNEP:	<i>United Nations Environment Programme</i>
V:	Verano
W:	Tipo de tiempo Oeste
WBGT:	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>
WCI:	<i>Wind Chill Index</i>
WCPA:	<i>World Commission on Protected Areas</i>
WF:	Flujo del Oeste
WHO:	<i>World Health Organization</i>

WMO:	<i>World Meteorological Organization</i>
WSI:	<i>Weather Stress Index</i>
Z:	Vorticidad total
ZS:	Vorticidad del Sur
ZW:	Vorticidad del Oeste

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1. ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES EN BIOMETEOROLOGÍA

La relación entre la salud del ser humano y el clima fue descrita por primera vez por Hipócrates (460-377 a.c.). El Padre de la Medicina afirmaba: “Todo aquel que quiera estudiar medicina correctamente debe conocer las siguientes materias: Primero, debe tener en cuenta los efectos de cada estación del año, y las diferencias que existen entre ellas. En segundo lugar, debe estudiar los vientos fríos y los cálidos, tanto los que son comunes a todos los países, como los que son propios de cada región”.

Fue el primero en darse cuenta de que el bienestar tiene una relación estrecha con factores que hoy denominaríamos meteorológicos, no solo con los internos del propio organismo. Tal planteamiento, sin embargo, no siempre se tuvo en cuenta en los siglos posteriores. Así, durante los modos

de pensar de corte racionalista y mecanicista, los estudiosos tendieron a considerar el cuerpo como una máquina, sin condicionamientos externos.

Los posteriores avances han demostrado que las variables meteorológicas y los contaminantes tienen una influencia significativa, en especial, sobre determinadas patologías. Los cambios en el organismo relacionados con las alteraciones en las condiciones atmosféricas han recibido en la literatura especializada actual el nombre de “meteorotropismos” (Gonçalves et al., 2007). Destacan en este sentido todas las enfermedades de los aparatos circulatorio, respiratorio y digestivo.

Actualmente todas las investigaciones llevadas a cabo en relación con la influencia del medio ambiente sobre la salud se engloban en lo que se llama la Biometeorología humana. También ha sido denominada como Meteorología médica. El estudio de tal disciplina requiere un alto grado de interdisciplinariedad entre materias tales como Física, Biología, Química y Medicina.

Los avances más recientes en dicha ciencia parten de los estudios realizados por autores del siglo XX en zonas de habla alemana, tales como Sauberer (1948), Ungeheuer (1955), Flach (1957) y Assmann (1963). Estos autores emplearon métodos estadísticos para establecer correlaciones entre las condiciones atmosféricas y la salud, lo que constituye la base del modo de proceder en la Biometeorología actual.

Más adelante, ya en los años setenta, se desarrollaron modelos biometeorológicos a través de Índices termológicos, especialmente a partir de los estudios de Fanger (1970). Y, ya recientemente, se han incluido en los estudios de investigación otros factores referentes a la contaminación del aire: concentraciones de contaminantes, reacciones químicas asociadas, interacción con variables atmosféricas, etc. (Borja-Aburto et al., 1998; Aga

et al., 2003; Schwartz, 2003; Samoli et al., 2005; Zeka et al., 2005; Samoli et al., 2007).

Una línea concreta de investigación en la Biometeorología es el estudio de las repercusiones que tienen las variaciones de las variables atmosféricas y los contaminantes en la morbilidad (número de personas que ingresan en un centro médico en un lugar y periodo de tiempo determinados) y en la mortalidad (número de personas que mueren en un lugar y periodo de tiempo determinados), según las distintas patologías, grupos de pacientes, etc. (Mannino y Washburn, 1989; Auliciems et al., 1997; Koken et al., 2003; Mittleman y Verrier, 2003; Ebi et al., 2004; Feldman et al., 2004; Brunekreef y Forsberg, 2005).

Un factor determinante para medir el grado de influencia que el medio ambiente ocasiona en el ser humano es el intervalo de adaptación a las variaciones climáticas (Kilbourne, 1997). Lo abrupto de estos cambios influye en las tasas de mortalidad de las poblaciones. Todo ello se traduce en distintos resultados según lo suave o extremo que sea el clima de la zona en estudio.

La estacionalidad de la morbilidad hospitalaria y de la mortalidad es un hecho bien conocido, identificándose el invierno como la época de mayor número de defunciones. Encontrar modelos que den explicación a estas pautas constituye una línea de investigación de gran actualidad; así, se han realizado trabajos como los de Bart y Bourque (1995) en Canadá, también en Estados Unidos (Kloner et al., 1999), Nueva Zelanda (Cockburn y Salinger, 2001), y Donaldson et al. (2003) en Inglaterra.

Estos trabajos han puesto de manifiesto que las diferencias entre las tasas de mortalidad estacionales cada vez son menos evidentes, aunque

todavía están lejos de igualarse los valores medios de mortalidad correspondiente a cada una de las estaciones (Gemmell et al., 2000).

El grado de influencia de la atmósfera sobre los seres humanos depende de las condiciones meteorológicas propias del lugar donde viven (Brazel et al., 2000), la edad, el sexo, la raza y otros muchos factores (Steadman, 1979). No sólo una modificación del tiempo más o menos brusca afecta a la salud (Kosatsky, 2005), sino que los propios cambios estacionales pueden generar una variación, tanto de enfermedades generales (Kalkstein et al., 1996), como de afecciones coronarias y respiratorias (Schwartz et al., 2004), siendo la temperatura del aire y la humedad relativa las variables que, fluctuando estacionalmente, muestran mayor influencia (Steadman, 1979).

Sin duda, el cambio climático y, más especialmente, el aumento de la temperatura prevista en algunas zonas de nuestro planeta (debido principalmente al aumento del CO₂ y otros gases causantes del efecto de invernadero en la atmósfera) son también motivos de preocupación sanitaria (Kalkstein y Greene, 1997; McGeehin y Mirabelli, 2001). Los efectos que se derivan del cambio climático sobre la salud pueden ser agrupados desde dos puntos de vista: efectos de tipo directo, cuyo ejemplo más representativo es la pérdida de vidas por olas de calor o de frío (Semenza et al, 1996; Leonardi et al., 2006; Sheridan, 2007), y efectos indirectos que las variaciones climáticas severas pueden presentar sobre el aumento e incidencia de la morbilidad y mortalidad debidas a enfermedades de tipo endémico como el cólera o la malaria (Michelozzi et al., 2006; Mastrangelo et al., 2006). Asimismo, la variabilidad meteorológica produce cambios en la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos como sequías, inundaciones, tormentas severas, etc., que pueden ser asociados al cambio climático y que se encuentran

estrechamente relacionados con la calidad de las aguas, por lo tanto, con enfermedades de tipo infeccioso.

La magnitud de estos problemas ocupa de manera creciente a las autoridades de los diversos países. En el caso de España, el deterioro de la calidad del aire podría potenciarse por su proximidad con África, donde existen zonas con enfermedades ligadas a microorganismos patógenos; el riesgo se debería a la extensión geográfica de tales vectores infecciosos ya establecidos (Abanades et al., 2007).

Los efectos anteriormente señalados de la contaminación ambiental en la salud humana se han estudiado por diversos autores: así la disminución en la función pulmonar (Pope et al., 1991), los incrementos en síntomas de patologías respiratorias (Peters et al., 1999), y las emergencias hospitalarias (Bates et al., 1990).

En los últimos años, además de la influencia que las diferentes variables meteorológicas presentan sobre la morbilidad y mortalidad, los episodios de altos niveles de concentración de contaminantes atmosféricos también han sido objeto de numerosos estudios (Künzli et al., 2000; Liang et al., 2008). En este sentido cabe reseñar que las altas concentraciones de materia particulada en USA (Schwartz, 2003), Canadá (Burnett et al., 2000), Alemania (Spix et al., 1993), China (Xu et al., 1994), Corea (Lee et al., 2000), Grecia (Katsouyanni et al., 1990), y Brasil (Saldiva et al., 1994) están significativamente asociadas con la mortalidad cardiopulmonar.

En cuanto a las variables meteorológicas, cabe destacar que se han realizado trabajos acerca de la relación entre las mismas y la morbilidad y mortalidad. Gran parte de ellos se refieren a la relación de la temperatura sobre la mortalidad. Esta relación suele describirse como no lineal y en forma de V o J, ya que la mortalidad aumenta con valores muy altos o muy

bajos de la temperatura, existiendo un valor mínimo de mortalidad para una temperatura denominada de confort (Kunst et al., 1993; Sáez et al., 1995; Kan et al., 2003; El-Zein et al., 2004; Fernández-Raga et al., 2010).

Las temperaturas de confort varían según las zonas o lugares de estudio, habitualmente descienden con valores crecientes de latitud, o con climas más fríos, debido a la adaptación de la población (Keatinge et al., 2000; Curriero et al., 2002). También pueden influir en el descenso de la temperatura de confort factores sociodemográficos, como el aumento del porcentaje de población anciana (Mirón et al., 2008).

Existen otros factores que también contribuyen a la incidencia de los fallecimientos a causa del calor, como son las enfermedades mentales (Stafoggia et al., 2006), determinadas medicaciones a base de, por ejemplo, psicotrópicos y anticolinérgicos (Beggs, 2000; Beggs y Vaneckova, 2008), aislamiento social (Naughton et al., 2002), y residencias de tercera edad (Hajat et al., 2007).

Las olas de calor constituyen un capítulo de particular relevancia en la Biometeorología actual por la repercusión social de este problema, hasta tal punto que, para algunos autores (Kalkstein y Greene, 1997) constituyen la primera causa de mortalidad asociada a catástrofes naturales. Tal fenómeno ha sido extensamente estudiado por diversos investigadores: Sartor et al. (1995, 1997) en Bélgica; Mackenbach et al. (1997) en Holanda; Laschewski y Jendritzky (2002) en Alemania; Dessai (2002, 2003) en Portugal; Díaz et al. (2002, 2006) en España; Donaldson et al. (2003) en Finlandia; Kysely (2004) en la República Checa; Conti et al., (2005, 2007) en Italia; Golden et al. (2008) en Estados Unidos; Revich y Shaposhnikov en Rusia (2008); Nicholls et al., (2008) y Vaneckova et al., (2008, a y b) en Australia.

1.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS Y CONTAMINANTES QUE INFLUYEN EN LA SALUD

Los parámetros atmosféricos que influyen en la salud humana pueden agruparse en variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos.

1.2.1. Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas que de forma relevante afectan a los procesos del organismo humano son la presión atmosférica, la temperatura, la humedad y las radiaciones. Diversos autores, como Battestini (1975), Corominas (1976), Rivolier (1985), Martínez-Carpio y Battestini (2002), y Martínez-Carpio (2003), han precisado sus características, que a continuación se indican.

Presión atmosférica

El incremento de la presión atmosférica puede aumentar la viscosidad del aire respirado y facilitar un broncoespasmo en individuos predispuestos. Además, sus variaciones se relacionan con cambios en el volumen gaseoso de ciertas estructuras del cuerpo, lo que puede ocasionar patologías de tipo cerebrovascular, barosinusitis, barotitis etc.

Temperatura

En épocas de frío aumenta el riesgo de hipotermia (temperatura corporal inferior a 35°C). Este hecho se asocia frecuentemente con el aumento de mortalidad en las urgencias por patologías del sistema Circulatorio en pacientes de edad. Por otro lado, las altas temperaturas incrementan el esfuerzo que ha de realizar el organismo para mantenerse refrigerado en los meses cálidos, por lo que aumentará el riesgo de patologías cardiovasculares en personas sensibles.

Humedad del aire

La humedad relativa varía según las características de los diferentes tipos de masas de aire. Cuando aumenta mucho, pueden llegar a proliferar los mohos y ácaros, lo que incrementa el riesgo de patologías infecciosas del sistema Respiratorio.

Radiaciones

La radiación solar puede ser muy variable según la cobertura nubosa. Los procesos que se asocian a los incrementos de radiación son el eritema solar, la elastosis, el cáncer de piel, las cataratas, la fotoqueratitis y la fotoconjuntivitis, así como alteraciones inmunológicas y otros.

1.2.2. Contaminantes atmosféricos

La contaminación atmosférica engloba toda una serie de sustancias cuya presencia en concentraciones elevadas constituye un factor de riesgo para determinadas patologías, especialmente del sistema respiratorio (Katsouyanni, 2003). Aquí se agrupan contaminantes gaseosos tales como el CO, el SO₂, el NO, el NO_x y el O₃, así como partículas. En ciudades industrializadas su análisis y vigilancia reviste particular importancia.

Hasta los años 80 se consideró en Europa que los niveles de contaminación ambiental no suponían una amenaza para la salud pública. Más adelante se comprobó que concentraciones moderadas de partículas y contaminantes sí que pueden tener efectos a corto y largo plazo sobre la salud humana. Y esto, a pesar de las medidas legales que en buena parte de los países civilizados se tomaron desde las décadas de 1960 y 1970 para disminuir las emisiones de óxidos de azufre y partículas (Holland et al., 1979).

Las repercusiones de la contaminación ambiental sobre la salud son directas (aumento y redistribución de alérgenos, sensibilizaciones mediadas por inmunoglobulina E, etc.), pero también indirectas, a través de las alteraciones provocadas sobre los ecosistemas naturales (Martínez-Carpio, 2003).

Se puede añadir que este problema no debería tratarse exclusivamente estudiando separadamente los efectos de cada uno de los contaminantes, ya que, en la práctica, actúan formando mezclas cuya acción tiene manifestaciones sinérgicas. Sin embargo el estudio de dichas combinaciones es complejo (Katsouyanni, 2003).

Se puede afirmar que, en términos generales, una atmósfera estable, anticiclónica, puede considerarse poco propicia para la aparición de trastornos psicoorgánicos, mientras que con una atmósfera inestable, sobre todo tras un cambio brusco de los parámetros meteorológicos, aparecen incrementos en ciertos Índices de morbilidad y mortalidad. (Martínez-Carpio, 2003).

Los estudios epidemiológicos llevados a cabo en las últimas décadas han permitido establecer asociaciones significativas entre seis tipos de contaminantes patrón y diversos efectos sobre la salud, según World Meteorological Organization (WMO) en 2003:

Partículas

Las partículas o aerosoles se presentan con diversas características físicas y químicas. Entre las primeras, cabe señalar como las más importantes el tamaño, la superficie y el número. Las propiedades químicas son las asociadas a su composición, que en muchos casos viene dada por

metales de transición, hidrocarburos aromáticos policíclicos, material carbonado diverso, y también inorgánico, como nitratos y sulfatos.

El tamaño de las partículas constituye una variable fundamental para evaluar las consecuencias de este contaminante en la salud pública. A tal efecto se establecieron las PM₁₀ (partículas con diámetro menor de 10 µm) en 1979, por parte de la *Environmental Protection Agency* (EPA), como indicador ambiental, añadiéndose las PM_{2,5} (partículas con diámetro menor de 2,5 µm) en 2000 (EPA, 2002). Algunas de las partículas son emitidas (denominadas primarias), y otras, como nitratos y sulfatos, se forman en la atmósfera (se denominan secundarias).

Se han estudiado los efectos de las partículas sobre la incidencia en diversas patologías en el informe de *World Health Organization* (WHO) en 2000 (www.apps.who.int/classifications). También han sido investigados extensamente sus efectos sobre grupos de población más sensibles, como son las personas de edad, los diabéticos, los enfermos cardíaco-pulmonares, y los socialmente marginados (O’Neill et al., 2003, 2005; Bateson y Schwartz, 2004; Jerrett et al., 2004; Charafeddine y Boden, 2007).

Ozono

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, formado por tres átomos de este elemento, con carácter altamente oxidante. Se encuadra dentro de los contaminantes secundarios, originado por acción de la radiación solar sobre contaminantes primarios, principalmente óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. Este es el ozono que se obtiene en la troposfera, de carácter nocivo, distinto del estratosférico, que forma una capa cuya destrucción constituye un problema medioambiental de distinta índole.

El ozono troposférico se produce en mayor cantidad en zonas de mayor irradiación solar y en época de verano. Reacciona con sustancias reductoras, como las biomoléculas, con efectos a corto y largo plazo. En este sentido, se ha constatado desde hace tiempo el incremento de mortalidad y morbilidad en periodos cálidos, especialmente en patologías del sistema Respiratorio, como el asma, cáncer de pulmón, daños en el epitelio pulmonar, etc. (O'Neill et al., 2005; Ren et al., 2008; Stieb et al., 2009; Cheng et al., 2009).

Dióxido de nitrógeno y otros óxidos de nitrógeno

Estos gases se producen por la combustión del nitrógeno molecular atmosférico a altas temperaturas, como resultado de los procesos que tienen lugar en vehículos, calefacciones, industrias etc. De hecho su concentración ambiental suele ser un buen indicador de la polución creada por el tráfico en las ciudades.

Durante tales procesos de combustión se forma no solo NO₂, sino también NO y otros óxidos de nitrógeno, que se engloban en el término genérico de NO_x. Parte del NO generado se convierte a su vez en NO₂ a través de reacciones de oxidación. El NO₂, en presencia de luz solar, y juntamente con oxígeno y compuestos hidrocarbonados participa en la formación de ozono y otros oxidantes fotoquímicos secundarios. Por ello el NO₂ es un precursor importante en la formación del ozono.

Los estudios reflejan que los individuos más sensibles a estos óxidos de nitrógeno son los asmáticos, aunque sus sensibilidades difieren bastante. (*Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society*, 1996). Se han realizado investigaciones epidemiológicas sobre los efectos a corto plazo del NO₂ en la morbilidad y mortalidad. Los efectos se modifican en modelos multi-contaminante,

donde también se incluyen las partículas y el CO (Touloumi et al., 1997; Zmirou et al., 1998; Sáez et al., 2002). También se ha comprobado que la mortalidad debida a las partículas es mayor en aquellas áreas donde la concentración de NO₂ es mayor. Se ha interpretado en términos de una mayor generación de partículas allí donde los niveles de NO₂ por el tráfico son mayores (Katsouyanni et al., 2001).

Dióxido de azufre

Este contaminante se ha considerado siempre conjuntamente con las partículas, pues su presencia se debe al azufre existente en el carbón. Desde 1970 los niveles de este contaminante en Europa y Estados Unidos han descendido como consecuencia del uso de otros combustibles derivados del petróleo. Con todo, el carbón es ampliamente usado en muchos países (Davis, 2002).

Desde el punto de vista sanitario, el incremento de los niveles de SO₂ produce a corto plazo problemas respiratorios, siendo los asmáticos los más sensibles (Katsouyanni, 2003; Wilson et al., 2005).

Monóxido de carbono

El CO se produce por la combustión incompleta de materiales tales como gasolinas y gas natural. Su concentración puede llegar a ser alta en determinados microentornos, tales como túneles, aparcamientos subterráneos, etc.

Sus efectos tóxicos se deben a su alta afinidad química con la hemoglobina sanguínea, mucho mayor que la que tiene el oxígeno, por lo que altos valores de CO podrían ocasionar envenenamiento, situación que no se produce en ambientes abiertos. Sin embargo, su presencia sí que puede interferir en el transporte de oxígeno en la respiración. Algunos

trabajos epidemiológicos han mostrado relación entre niveles de CO y morbilidad y mortalidad por cardiopatías (Touloumi et al., 1996; Schwartz 1999; Samet et al., 2000).

1.3. ENFERMEDADES DE LOS SISTEMAS CIRCULATORIO Y RESPIRATORIO

Se adjunta a cada enfermedad su código CIE-10 (Clasificación Internacional de Enfermedades, décima versión), equivalente a la inglesa ICD (*International Classification of Diseases*)

(<http://apps.who.int/classifications/apps/icd/icd10online>).

Las enfermedades del sistema Circulatorio son:

(I00-I02) Fiebre reumática aguda

La fiebre reumática es una enfermedad inflamatoria, no supurativa y recurrente producida por la respuesta del sistema inmunitario de algunas personas predispuestas, a los antígenos de la bacteria estreptococo del grupo A betahemolítico, a partir de las dos o tres semanas de provocar una faringoamigdalitis aguda.

La fiebre reumática es una complicación tardía que puede afectar a cualquier parte del organismo; el principal órgano afectado es el corazón donde puede afectar al pericardio (pericarditis), al miocardio (miocarditis) o al endocardio (endocarditis). En la fase aguda produce una pancarditis que provoca valvulopatías cardíacas en la fase crónica. Afecta también a la piel (eritema marginado), a las articulaciones (poliartritis migratoria), al cerebro (corea de Sydenham) y al tejido celular subcutáneo (nódulos subcutáneos).

(I05-I09) Cardiopatías reumáticas crónicas

En sentido amplio, el término cardiopatía puede englobar a cualquier padecimiento del corazón o del resto del sistema cardiovascular. Habitualmente se refiere a la enfermedad cardíaca producida por asma y/o colesterol.

En sentido estricto, sin embargo, se suele denominar cardiopatía, a las enfermedades propias de las estructuras del corazón.

(I10-I15) Enfermedades hipertensivas

La hipertensión arterial es una condición médica caracterizada por un incremento continuo de las cifras de presión arterial por encima de 139/89 mmHg y considerada uno de los problemas de salud pública en países desarrollados, que afecta a cerca de mil millones de personas a nivel mundial. La hipertensión es una enfermedad fácil de detectar; sin embargo, produce complicaciones graves si no se trata a tiempo.

La hipertensión arterial produce cambios hemodinámicos, macro y microvasculares, causados a su vez por disfunción del mismo endotelio vascular y el remodelado de la pared de las arteriolas de resistencia, responsables de mantener el tono vascular periférico. Estos cambios, que anteceden en el tiempo a la elevación de la presión, producen lesiones orgánicas específicas, algunas de ellas definidas clínicamente.

(I20-I25) Enfermedades cardíacas isquémicas

(I26-I28) Enfermedad cardíaca pulmonar y enfermedades de la circulación pulmonar

(I30-I52) Otras formas de cardiopatía

(I60-I69) Enfermedades cerebrovasculares

(I70-I79) Enfermedades de arterias, arteriolas y capilares

(I80-I89) Enfermedades de vena, vasos linfáticos y nodos linfáticos, no clasificadas en otra parte

(I95-I99) Otros trastornos del sistema circulatorio y trastornos sin especificar

Las enfermedades del sistema Respiratorio son:

(J00-J06) Infecciones respiratorias superiores agudas

(J09-19) Gripe y Neumonía

(J20-J22) Enfermedades respiratorias inferiores agudas

(J30-J39) Otras enfermedades del tracto respiratorio superior

(J40-J47) Enfermedades respiratorias inferiores crónicas

(J60-J70) Enfermedades del pulmón debidas a agentes externos

(J80-J84) Otras enfermedades respiratorias principalmente afectando al intersticio

(J85-J86) Condiciones supurativas y necróticas del tracto respiratorio inferior

(J90-J94) Otras enfermedades de la pleura

(J95-J99) Otras enfermedades del sistema respiratorio

1.4. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO

La comunidad autónoma de Castilla-La Mancha se encuentra situada aproximadamente en el centro de la Península Ibérica, ocupando la mayor parte de la Submeseta Sur, denominación que se da a la extensa llanura que conforma la parte Sur de la Meseta central. Se encuentra encuadrada al Sur del Sistema Central, división natural con la Submeseta Norte y con Castilla y León. Pese a esto, no faltan los paisajes montañosos, como el del Sistema Central (al Norte), el Sistema Ibérico (al Nordeste) o Sierra Morena y los Montes de Toledo, al Sur.

Es una región extensa que cuenta con una superficie geográfica de 79.461 km², el 15,7% del territorio nacional. Engloba a cinco provincias - Albacete, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara y Toledo- con un total de 916 municipios, lo que constituye el 11,3% de los municipios de España (Pillet, 2007).

1.4.1. Clima de Castilla-La Mancha.

La comunidad de Castilla-La Mancha está situada en el dominio climático mediterráneo. Sus características más significativas son: inviernos rigurosos, veranos cálidos, sequía estival, irregularidad en las precipitaciones, fuertes oscilaciones térmicas y notable aridez. Estos rasgos son resultado de las interrelaciones entre unos factores geográficos y otros dinámicos como la latitud, la situación de la región dentro de la Península, la disposición del relieve y la altitud. De octubre a abril el clima está primordialmente gobernado por las depresiones atlánticas y la alternancia de masas de aire asociadas a la circulación general de la atmósfera en las latitudes medias del hemisferio Norte, mientras que en el resto del año prevalecen las masas de aire cálidas y estables asociadas al anticiclón

subtropical del Atlántico. En consecuencia, Castilla-La Mancha posee un clima continental subtropical con fuerte influencia mediterránea, caracterizado por inviernos relativamente frescos y veranos muy cálidos (Castro, 2009). La variedad climática puede apreciarse en la Fig. 1.1.

Las temperaturas en Castilla-La Mancha son muy extremas debido al efecto de la continentalidad; la amplitud térmica anual (diferencia entre la temperatura media del mes más caluroso y la del mes más frío) es muy elevada, normalmente entre 18°C y 20°C. En julio la temperatura media mensual se sitúa por encima de los 22°C en la mayor parte de la región. Los veranos más suaves, por debajo de los 22°C de media mensual, se dan en el Norte y Nordeste de Guadalajara y en las zonas montañosas de Cuenca, donde las medias no suben de los 18°C.

Los inviernos, sin embargo, son fríos, pues en la mayor parte de la región la temperatura media del mes de enero se sitúa por debajo de los 6°C. Los inviernos suaves (más de 6°C de media en enero) se registran en

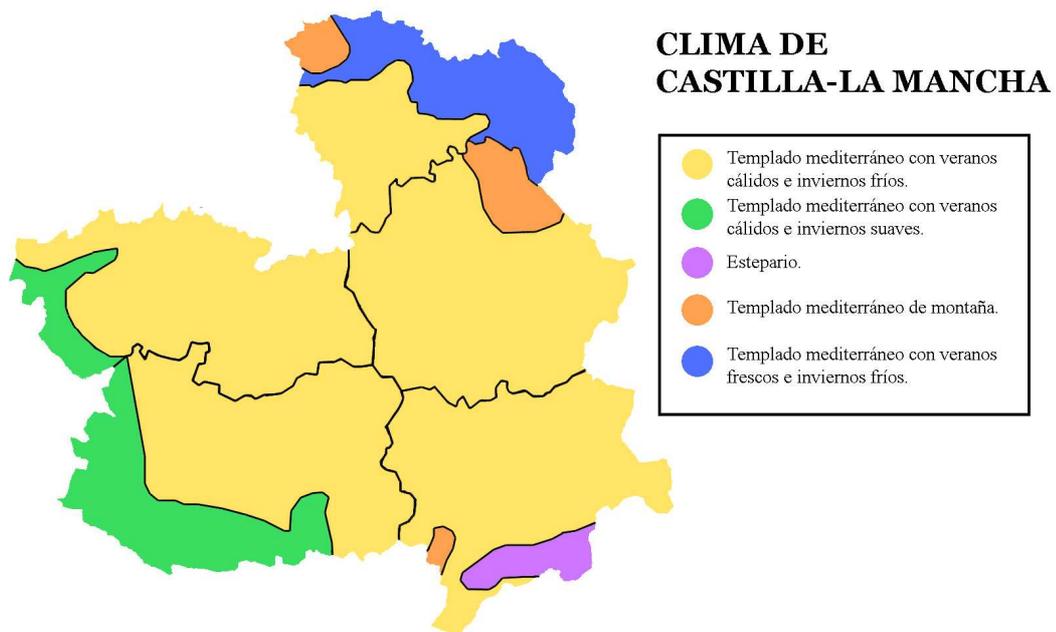


Fig. 1.1: Clima de Castilla-La Mancha

las áreas occidentales de Toledo y Ciudad Real, y los inviernos menos fríos son los del Sur de Albacete.

La aridez procede de la relación entre precipitaciones y temperaturas. Como en esta región las precipitaciones son escasas, las temperaturas de verano altas, y coincide la estación seca con las máximas temperaturas, los Índices de aridez son muy altos, sobre todo en La Mancha y el Sureste.

Castilla-La Mancha se puede incluir dentro de la denominada tradicionalmente "España Seca". Las precipitaciones no son muy abundantes, y siguen un patrón muy parecido al del clima mediterráneo típico.

Se pueden establecer las siguientes zonas pluviométricas dependiendo de las precipitaciones:

Zona Seca, situada en el Sureste de la provincia de Albacete, con menos de 300 mm anuales. La distribución de precipitaciones a lo largo del año presenta un régimen típicamente mediterráneo, caracterizado por la existencia de una estación seca muy marcada durante el verano, unos máximos de lluvias en los meses de primavera y otoño, y un mínimo poco acusado en invierno.

Zona Manchega, o "banda seca" que atraviesa la región por el centro con una dirección Noroeste-Sureste, y se caracteriza por la escasez de precipitaciones, entre 300 y 400 mm.

Zona Occidental, situada en el Oeste de las provincias de Ciudad Real y Toledo, y con precipitaciones entre 600 y 700 mm.

Zona lluviosa, situada en el Norte de la provincia de Guadalajara y Este de la de Cuenca y otras áreas montañosas de la región, donde las precipitaciones superan los 700 mm, y en algunos casos los 1.000 mm.

1.4.2. Población y hospitales

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) (www.ine.es) de 1 de enero de 2008, Castilla-La Mancha cuenta con 2.043.100 habitantes, repartidos entre sus cinco provincias. A pesar de ser la tercera región más extensa de España, detrás de Castilla y León y Andalucía, es una de las menos pobladas, situándose en el noveno puesto entre todas las comunidades autónomas españolas. Su densidad de población es 25,7 hab./km². La población de la región representa el 4,4% de la población nacional.

La región posee la menor densidad de población de toda España, cuya media estatal es 88,6 hab./km². Zonas industrializadas como son el Corredor del Henares, con una densidad de 126 hab./km², la comarca de la Sagra o la zona industrial de Sonseca, superan ampliamente la media regional.

La pirámide de población de Castilla-La Mancha (Fig. 1.2) presenta una tipología similar a la de una región desarrollada, con la zona central más ancha que la base y que la zona superior. La población entre los 16 y los 44 años representa alrededor del 44%, de 45 a 64 años de edad representan el 21,3%, mientras que los niños suponen un 15% y los mayores de 65 años un 18%. Estos datos vienen a demostrar el progresivo envejecimiento de la población castellano-manchega.

Respecto a sexos, en la región habitan alrededor de 9.000 hombres más que mujeres, lo que supone un 50,3% frente a un 49,7%. A nivel

nacional sucede lo contrario, la población femenina supera a la masculina en un 1,1%.

La tasa de natalidad por 1.000 habitantes de Castilla-La Mancha se situaba en 2006 (INE, 2006) en 10,21, algo por debajo de la media nacional, que se quedaba en 10,92. La tasa de mortalidad en 2006 alcanzaba un 8,83, algo superior a la media española, que era de 8,42.

La esperanza de vida al nacer se encuentra entre las más altas de España. En las mujeres es 83,6 años, y en los hombres 77,9 años. En cuanto al número de defunciones por sexo y grupo quinquenal de edad, puede dar una idea la Tabla 1.1, correspondiente a uno de los años estudiados en el presente trabajo.

En Castilla-La Mancha, en el año 2007, las cinco principales causas de muerte (según la clasificación en grandes grupos de causas) fueron, en ambos sexos: enfermedades del aparato circulatorio (31,5%), tumores (25,7%), sistema respiratorio (12,9%), aparato digestivo (5,2%), y sistema nervioso (4,1%).

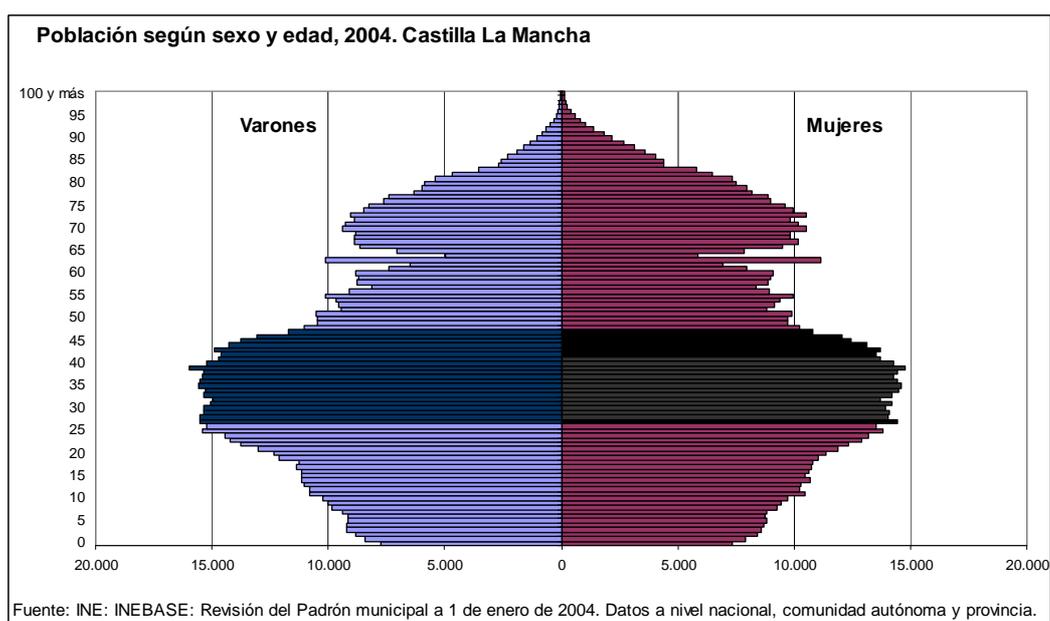


Fig. 1.2: Población según sexo y edad, 2004. Castilla-La Mancha

En hombres, en el año 2007, las cinco principales causas de muerte fueron: tumores (31,4%), enfermedades del aparato circulatorio (27,0%), sistema respiratorio (14,5%), causas externas (5,4%), y aparato digestivo (5,4%).

Tabla 1.1: Número de defunciones en Castilla La-Mancha por sexo y grupo quinquenal durante el año 2000.

	Varones	Mujeres	Ambos sexos
Menor de 1 año	18	22	40
1-4 años	7	5	12
5-9 años	4	0	4
10-14 años	4	3	7
15-19 años	24	9	33
20-24 años	40	12	52
25-29 años	57	15	72
30-34 años	53	20	73
35-39 años	96	24	120
40-44 años	125	40	165
45-49 años	121	45	166
50-54 años	159	79	238
55-59 años	247	105	352
60-64 años	395	188	583
65-69 años	761	361	1122
70-74 años	1062	694	1756
75-79 años	1479	1012	2491
80-84 años	1259	1437	2696
Más de 85 años	1994	3334	5328
Total	7905	7405	15310

En mujeres, en el año 2007, las cinco principales causas de muerte fueron: enfermedades del aparato circulatorio (36,4 %), tumores (19,3 %), sistema respiratorio (11,1 %), sistema nervioso (5,2 %), y aparato digestivo (4,9 %).

La evolución de la población en cada una de las provincias durante los años del presente estudio se aprecia en la Tabla 1.2, y las características de la población en cada provincia se explican a continuación:

Albacete está situado en el Sureste de la Meseta Central. Limita al Norte con Cuenca, al Este con Valencia y Alicante, al Sur con Murcia y Granada, y al Oeste con Ciudad Real y Jaén. Tiene una población total de 397.493 habitantes (2008).

Ciudad Real tiene 522.343 habitantes (INE, 2008) y 19.813 Km² de superficie repartidos entre sus 102 municipios. Limita al Norte con la provincia de Toledo, al Noreste con la provincia de Cuenca, al Este con la provincia de Albacete, al Sur con las provincias de Córdoba y Jaén, y al Oeste con la provincia de Badajoz.

Tabla 1.2: Evolución de la población por años de las provincias de Castilla-La Mancha.

Nº hab. por año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Albacete	363263	367283	371787	376556	379448	384640
Ciudad Real	476633	478581	484338	487670	492914	500060
Cuenca	201053	201526	201614	202982	204546	207974
Guadalajara	165347	171532	177761	185474	193913	203737
Toledo	527965	536131	546538	563099	578060	598256

La provincia de Cuenca tiene una extensión de 17.061 km², con una población de 215.274 personas (INE, 2008). En su capital vive casi un cuarto de la población de la provincia. Hay 238 municipios en esta provincia. La provincia de Guadalajara limita con las provincias de Cuenca, Madrid, Segovia, Soria, Zaragoza y Teruel. Su población es de 237.787 habitantes (2008), y cuenta con 17,6 hab./km²; un 35% de ellos viven en la capital. Hay 288 municipios en la provincia, de los cuales las tres cuartas partes son pueblos de menos de 200 habitantes.

La provincia de Toledo limita con las de Madrid, Cuenca, Ciudad Real, Badajoz, Cáceres y Ávila. Cuenta con una población de 670.203 habitantes (INE, 2008), repartidos en 204 municipios.

Los centros hospitalarios de mayor importancia de la Comunidad son los siguientes:

- En Albacete:

Hospital General Universitario de Albacete

Hospital Universitario Nuestra Señora del Perpetuo Socorro
(Albacete)

Hospital de Hellín

Hospital General de Almansa

Hospital General de Villarrobledo

- En Ciudad Real:

Hospital General de Ciudad Real

Hospital General La Mancha Centro (Alcázar de San Juan)

Hospital Santa Bárbara (Puertollano)

Hospital Gutiérrez Ortega (Valdepeñas)

Hospital Virgen de Altagracia (Manzanares)

Hospital General de Tomelloso

- En Cuenca:

Hospital Virgen de la Luz (Cuenca)

- En Guadalajara:

Hospital Universitario de Guadalajara

- En Toledo:

Hospital Virgen de la Salud (Toledo)

Hospital Geriátrico Virgen del Valle (Toledo)

Hospital Nuestra Señora del Prado (Talavera de la Reina)

Se pueden ampliar estos datos tanto en el Boletín Epidemiológico de Castilla-La Mancha (2000-2006) como en la Memoria Estadística de la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla-La Mancha (2004-2005).

1.5. OBJETIVOS

Los diversos aspectos abordados en esta Memoria tienen como fin principal la determinación y caracterización de las relaciones existentes entre las variaciones de morbilidad y mortalidad diarias registradas en las provincias que componen la Comunidad de Castilla-La Mancha en el periodo 2000-2006, y diferentes variables atmosféricas/contaminantes gaseosos. Para ello se han seleccionado dos grandes tipos de enfermedades (cardiovasculares y respiratorias), que se han diagnosticado en pacientes de diferentes grupos de edad.

Los objetivos de la investigación son:

- Determinar las situaciones meteorológicas dominantes durante el periodo de estudio y analizar sus características.

-
- Evaluar la importancia relativa de los tipos de tiempo dominantes durante los días con números elevados de admisiones hospitalarias, y con desfases de uno, dos y tres días.
 - Investigar las secuencias de tipos de tiempo en dos días consecutivos que ocasionan alta morbilidad.
 - Investigar las asociaciones de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias con varios Índices térmicos utilizados en la práctica biometeorológica. Asimismo, estudiar los días de mayor mortalidad y su dependencia con los tipos de tiempo.
 - Estudiar la relación de las variables meteorológicas y de los Índices meteorológicos con los contaminantes atmosféricos.

Tales objetivos y los aspectos de mayor interés de los mismos se han desarrollado en la presente memoria conforme a la estructura que se detalla en la siguiente sección.

1.6. ESTRUCTURA DE ESTA MEMORIA

El presente trabajo se estructura en seis capítulos. Además del presente Capítulo 1, de carácter introductorio, el Capítulo 2, de contenido teórico, estudia las características de los tipos de tiempo, concepto que se aplicará en capítulos posteriores para el estudio de morbilidad y mortalidad. Se explican las clasificaciones de los tipos de tiempo según su desarrollo histórico, así como la metodología empleada para su determinación en la presente Memoria. El capítulo se completa con ejemplos de mapas sinópticos correspondientes a cada uno de tales tipos de tiempo.

En el Capítulo 3 se estudian los datos de morbilidad en relación con las variables atmosféricas. Para cada tipo de enfermedad cardiovascular o respiratoria, en cada provincia y para toda la Comunidad, se lleva a cabo un estudio estadístico básico, con Índices de admisión.

En cada uno de los dos tipos de patologías se realiza un análisis estadístico con Índices de admisión, la clasificación diaria por tipos de tiempo, las características meteorológicas de las situaciones dominantes, las probabilidades condicionales y, por último, un análisis de días de Índices de admisión altos, con desfases y secuencias de tipos de tiempo.

En el Capítulo 4 se aborda la relación existente entre diversos Índices biometeorológicos y los datos de mortalidad, tanto para enfermedades del aparato Circulatorio como del Respiratorio. También se añade una investigación centrada en los días de mayor mortalidad y las secuencias de tipos de tiempo en los días previos.

En el Capítulo 5 se estudia primero la relación de la mortalidad con variables atmosféricas y contaminantes, y después con contaminantes e Índices. Para ello se utiliza la técnica de Análisis de Componentes Principales.

El trabajo se completa con el Capítulo 6, en el que se señalan las principales conclusiones y perspectivas de la investigación.

En esta Tesis Doctoral se abarcan aspectos diversos de un mismo tema, con enfoques y metodología distintos, por lo que se ha considerado oportuno incluir en cada capítulo su propia Introducción, Material y métodos, Resultados y Conclusiones. Con ello se pretende hacer más fácil la lectura, al tener cada capítulo mayor autonomía, con una estructura similar a la de un artículo científico.

1.7. BIBLIOGRAFÍA

- Abanades, J., Cuadrat, J.M., de Castro, M., Fernández, F., Gallastegui, C., Garrote, L., et al. 2007. *El cambio climático en España. Documento Resumen. Informe para el Presidente del Gobierno.*
- Aga, E., Samoli, E., Touloumi, G., Anderson, H.R., Cadum, E., Forsberg, B., et al., 2003. Short-term effects of ambient particles on mortality in the elderly: results from 28 cities in the APHEA2 project. *Eur. Respir.J. Suppl.* **40**, 28s–33s.
- Assmann, D., 1963. *Die Wetterfühligkeit des Menschen.* Fischer, Jena.
- Auliciems, A., Frost, D., Siskind, V., 1997. The time factor in mortality: weather associations in a subtropical environment. *Int. J. Biometeorol.* **40**, 183–191.
- Bart, J.L. y Bourque, D.A., 1995. Acknowledging the weather-health link. *Canadian Medical Association Journal.* **153**, 941-944.
- Bates, D.V., Baker-Anderson, M., Sizto, R., 1990. Asthma attack periodicity: a study of hospital emergency visits in Vancouver. *Environ. Res.* **51**, 51–70.
- Bateson, T. y Schwartz, J., 2004 Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality?: a case-crossover analysis of effect modifiers. *Epidemiology* **15**, 143–149.
- Battestini, R., 1975. *L'Home i l'espai.* Barcelona. Ed. 62.
- Beggs, P., 2000. Impacts of climate and climate change on medications and human health. *Aust. N. Z. J. Public Health.* **24**, 630–632.
- Beggs, P., Vaneckova, P., 2008. Admission to hospital for effects of heat and light: New South Wales, 1993–94 to 2003–04. *NSW Public Health Bulletin.*
- Boletín Epidemiológico de Castilla-La Mancha (2000-2006).
- Borja-Aburto, V.H., Castillejos, M., Gold, D.R., Bierzwinski, S., Loomis, D., 1998. Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993–1995. *Environ. Health Perspect.* **106**, 849–855.
- Brazel, A., Selover, N., Vose, R., Heiser, G., 2000. The tale of two climates-Baltimore and Phoenix urban LTER sites. *Clim Res.* **15**, 123–135.
- Brunekreef, B., Forsberg, B., 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *Eur. Respir. J.* **26**, 309–318.
- Burnett, R.T., Brook, J., Dann, T., Delocla, C., Philips, O., Cakmak, S., Vincent, R., Goldberg, M.S., Krewski, D., 2000. Association between particulate-and gas-phase components of urban air pollution and daily mortality in eight Canadian cities. *Inhal. Toxic.* **12**, 15–39.
- Castro, M., 2009. *Clima y cambio climático en Castilla-La Mancha.* Instituto de Ciencias Ambientales de Castilla-La Mancha.

-
- Charafeddine, R., Boden L., 2008. Does income inequality modify the association between air pollution and health? *Environmental Research* **106**, 81–88.
- Cheng, M., Tsai S., Yang C., 2009. Air Pollution and Hospital Admissions for Myocardial Infarction in a Tropical City: Kaohsiung, Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health* **72**, 1135-1140.
- Cockburn, S., Salinger, J., 2001. Does climate affect mortality in Auckland? *Water & Atmosphere* **9**, 26–27.
- Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996. Health effects of outdoor air pollution. *Am. J. Respir. Crit Care Med.* **153**, 3–50 y 477–498.
- Conti, S., Masocco, M., Meli, P., Minelli, G., Palummeri, E., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., 2007. General and specific mortality among the elderly during the 2003 heat wave in Genoa (Italy). *Environmental Research* **103**, 267–274.
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C., Perini, L., 2005. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heatwave in Italy. *Environmental Research* **98**, 390–399.
- Corominas, A., 1976. *Patología ambiental y espacial*. Barcelona. Ed. Fargraf.
- Curriero, F.C., Heiner, K.S., Samet, J.M., Zeger, S.L., Strug, L., Patz, J.A., 2002. Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern. United States. *Am. J. Epidemiol.* **155**, 80–87.
- Davis, D.L., 2002. *When Smoke Ran Like Water*. New York. Basic Books.
- Dessai, S., 2002. Heat stress and mortality in Lisbon Part I. Model construction and validation. *Int. J. Biometeorol.* **47**, 6–12.
- Dessai, S., 2003. Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *Int. J. Biometeorol.* **48**, 37–44.
- Díaz, J., García-Herrera, R., Trigo, R.M., Linares, C., Valente, M.A., De Miguel, J.M., Hernández, E., 2006. The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *Int. J. Biometeorol.* **50**, 159–166.
- Díaz, J., García, R., Velázquez de Castro, F., Hernández, E., López, C., Otero, A., 2002. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int. J. Biometeorol.* **46**, 145–149.
- Donaldson, G.C., Keatinge, W.R., 2003. Changes in summer temperature and heat-related mortality since 1971 in North Carolina, South Finland, and Southeast England. *Environ. Res.* **91**, 1–7.
- Donaldson, G.C., Keatinge, W.R., Saunders, R.D., 2003. Cardiovascular responses to heat stress and their adverse consequences in healthy and vulnerable human populations. *Int. J. Hyperther.* **19**, 225-235.

-
- Ebi, K.L., Exuzides, K.A., Lau, E., Kelsh, M., Barnston, A., 2004. Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983–1998. *Int. J. Biometeorol.* **49** (1), 48–58.
- El-Zein, A., Tewtel-Salem, M., Nehme, G., 2004. A time-series analysis of mortality and air temperature in Greater Beirut. *Sci. Total Environ.* **330**, 71–80.
- EPA, 2002. Third external review draft of air quality criteria for particulate matter.
- Feldman, D.E., Platt, R., Dery, V., Kapetanakis, C., Lamontagne, D., Ducharme, A., Giannetti, N., Frenette, M., Beck, E.J., 2004. Seasonal congestive heart failure mortality and hospitalization trends, Quebec 1990–1998. *Epidemiol. Community Health* **58** (2), 129–130.
- Fernández-Raga, M., Clemente, T., Fraile, R., 2010. Human mortality seasonality in Castile-Leon, Spain, between 1980 and 1998: the influence of temperature, pressure and humidity. *Int. J. Biometeorol.* **54**(4), 379–392.
- Flach, E., 1957. Grundbegriffe und Grundtatsachen der Bioklimatologie. Linke F (ed) *Meteorologisches Taschenbuch*, vol IV, part III, pp. 178–271. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- Gemmell, I., McLoone, P., Boddy, F.A., Dickinson, G.J., and Watt, G.C.M., 2000. Seasonal variation in mortality in Scotland. *Int. J. Epidemiol.* **29**, 274–279.
- Golden, S., Hartz, D., Brazel, A., Lubert, G., Phelan, P., 2008. A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 471–480.
- Gonçalves, F., Braun, S., Silva Dias, P.L., Sharovsky, P., 2007. Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of Sao Paulo. *Environmental Research.* **104**, 275–281.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Lachowycz, K., 2007. Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk? *Occup. Environ. Med.* **64**, 93–100.
- Holland, W.W., Bennett A.E., Cameron, I.R., Florey, C. du V., Leeder, S.R., Schilling, R.S.E., Swan, A.V., Waller, R.E., 1979. Health effects of particulate air pollution: reappraising the evidence. *Am. J. Epidemiol.* **110**, 527–659.
- Jerrett, M., Burnett, R.T., Brook, J., Kanaroglou, P., Giovis, C., Finkelstein, N., Hutchison, B., 2004. Do socioeconomic characteristics modify the short term association between air pollution and mortality? Evidence from a zonal time series in Hamilton, Canada. *J. Epidemiol. Community Health* **58**, 31–40.
- Kalkstein, L.S., Greene, J.S., 1997. An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change. *Environ Health Perspect.* **105**, 84–93.
- Kalkstein, L.S., Jamason, P., Greene, J., Libby, J., Robinsonet, L., 1996. The Philadelphia hot weather–health watch/warning system: development and application, summer 1995. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **77**, 1519–1528.

-
- Kan, H.D., Jia, J., Chen, B.H., 2003. Temperature and daily mortality in Shanghai: a time-series study. *Biomed. Environ. Sci.* **16**, 133–139.
- Katsouyanni, K., 2003. Ambient air pollution and health. *British Medical Bulletin.* **68**, 143–156.
- Katsouyanni, K., Karakatsani, A., Messari, I., et al., 1990. Air pollution and cause specific mortality in Athens. *J. Epidemiol Community Health.* **44**, 321–324.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E. et al., 2001. Confounding and effect modification in the short term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 Project. *Epidemiology* **12**, 521–531.
- Keatinge, W.R., Donaldson, G.C., Cordioli, E., Martinelli, M., Kunst, A.E., Mackenbach, J.P. et al., 2000. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *BMJ* **321**, 670–673.
- Kilbourne, E.M., 1997. Heat waves and hot environments. The public health consequences of disasters. *Oxford University Press.* pp. 245–249.
- Kloner, R.A., Poole, K. and Perritt, R.L., 1999. When Throughout the Year Is Coronary Death Most Likely to Occur? *Circulation* **100**, 1630–1634.
- Koken, P.J., Piver, W.T., Ye, F., Elixhauser, A., Olsen, L.M., Portier, C.J., 2003. Temperature, air pollution, and hospitalization for cardiovascular diseases among elderly people in Denver. *Environ. Health Perspect.* **111** (10), 1312–1317.
- Kosatsky, T., 2005. The 2003 European heat waves. *EuroSurveillance.* **10**, 148–149.
- Kunst, A.E., Looman, C.W., Mackenbach, J.P., 1993. Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time-series analysis. *Am. J. Epidemiol.* **137**, 331–341.
- Künzli, N., Kaiser R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F.Jr, Puybonnieux-Textier, V., Quenel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.C., Sommer, H., 2000. Public-health impact of outdoor and traffic related air pollution: a European assessment. *The Lancet* **356**, 795-801.
- Kysely, J., 2004. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int. J. Biometeorol.* **49**, 91–97.
- Laschewski, G., Jendritzky, G., 2002. Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Clim. Res.* **21**, 91–103.
- Lee, J.T., Kim, H., Hong, Y.C., Kwon, H.J., Schwartz, J., Christiani, D.C., 2000. Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991–1997. *Environ. Res.* **84**, 247–254.

-
- Leonardi, G.S., Hajat, S., Kovats, R.S., Smith, G.E., Cooper, D., Gerard, E., 2006. Syndromic Surveillance use to detect the early effects of heat-waves: an analysis of NHS direct data in England. *Soz-Pra Eventivmed.* **51**, 194–201.
- Liang, W-M., Wei, H-Y., Kuo, H-W., 2008. Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan. *Environ. Res.* doi:10.1016/j.envres.2008.10.002.
- Mackenbach, J.P., Borst, V., Schols, J., 1997. Heat-related mortality among nursing-home patients. *Lancet* **349**, 1297–1298.
- Mannino, J.A., Washburn, R.A., 1989. Environmental temperature and mortality from acute myocardial infarction. *Int. J. Biometeorol.* **33**, 32–35.
- Martínez-Carpio, P.A., Battestini, R., 2002. Medicina de montaña en el año 2002 (Año Internacional de las Montañas, de las Naciones Unidas): pasado, presente y futuro. *Med. Clin.* **119**, 776-84.
- Martínez-Carpio, P.A., 2003. Biometeorología y Bioclimatología Clínica: Fundamentos, aplicaciones clínicas y estado actual de estas ciencias. *Atención primaria* **32**, 300-305.
- Mastrangelo, G., Hajat, S., Fadda, E., Buja, A., Fedeli, U., Spolaore, P., 2006. Contrasting patterns of hospital admissions and mortality during heat waves: are deaths from circulatory excess or an artifact? *Med. Hypotheses* **66**, 1025–1028.
- McGeehin, M., Mirabelli, M., 2001. The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environ. Health Perspect.* **109**, 185–189.
- Memoria Estadística de la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla-La Mancha (2004-2005).
- Michelozzi, P., Accetta, G., D'Ippoliti, D., D'Ovidio, M., Marino, C., Perucci, C., Ballester, F., Bisanti, L., Goodman, P., Schindler, C., 2006. Short-term effects of apparent temperature on hospital admissions in European cities: Results from the PHEWE project. *Epidemiology* **17**. S84 National Weather Service (2007a) http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_wave.shtml National Weather Service (2007b). <http://www.crh.noaa.gov/pub/heat.php>.
- Mittleman, M.A., Verrier, R.L., 2003. Air pollution: small particles, big problems? *Epidemiology* **14** (5), 512–513.
- Naughton, M.P., Henderson, A., Mirabelli, M.C., Kaiser, R., Wilhelm, J.L., Kieszak, S.M., Rubin, C.H., McGeehin, M.A., 2002. Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. *Am. J. Prev. Med.* **22**, 221–227.
- Neville, N., Skinner, C., Loughnan, M., Tapper, N., 2008. A simple heat alert system for Melbourne, Australia. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 375–384.

-
- O'Neill, M.S., Hajat, S., Zanobetti, A., Ramirez-Aguilar, M., Schwartz, J., 2005. Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality. *Int. J. Biometeorol.* **50**, 121–129.
- O'Neill, M.S., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2003. Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. *Am. J. Epidemiol.* **157**, 1074–1082.
- O'Neill, M.S., Vesis, A., Sarnat, J.A., Gold, D.R., Economides, P.A., Horton, E.S., Schwartz, J., 2005. Diabetes enhances vulnerability to particulate air pollution associated impairment in vascular reactivity and endothelial function. *Circulation* **111**, 2913–2920.
- Peters, J.M., Avol, E., Navidi, W., London, S.J., Gauderman, W.J., Lurmann, F., Linn, W.S., Margolis, H., Rappaport, E., Gong, H., Thomas, D.C., 1999. A study of twelve southern California communities with differing levels and types of air pollution. Prevalence of respiratory morbidity. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **159**, 760–767.
- Pillet, F., 2007. Fuentes para la aplicación de la estrategia territorial Europea en Castilla-La Mancha. *Estudios geográficos* **68**, nº 263.
- Pope, Jr., C.A., Dockery, D.W., Spengler, J.D., Raizenne, M.E., 1991. Respiratory health and PM10 pollution. *Am. Rev. Respir. Dis.* **144**, 668–674.
- Ren, C., Williams, G. M., Morawska, L., Mengersen, K., Tong, S., 2008. Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occupational and environmental Medicine* **65**, 255-260
- Revich, B., Shaposhnikov, D., 2008. Temperature-induced excess mortality in Moscow Russia. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 367–374.
- Rivolier J. 1985. *El ambiente de la montaña*, Richelet J.P., editor. Barcelona: Masson.
- Sáez, M., Ballester, F., Barceló, M.A., Perez-Hoyos, S., Bellido, J., Tenias, J.M., Ocaña, R., Fidueiras, A., Arribas, F., Aragonés, N., Tobías, A., Cirera, L., 2002. A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the EMECAM project. *Environ Health Perspect.* **110**, 221–228.
- Sáez, M., Sunyer, J., Castellsague, J., Murillo, C., Anto, J.M., 1995. Relationship between weather temperature and mortality: a timeseries analysis approach in Barcelona. *Int. J. Epidemiol.* **24**, 576–582.
- Saldiva, P.H., Lichtenfels, A.J., Paiva, P.S., Barone, I.A., Martins, M.A., Massad, E., Pereira, J.C., Xavier, V.P., Singer, J.M., Bohm, G.M., 1994. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ. Res.* **65**, 218–225.
- Samet, J., Dominici, F., Curriero, F., Corsac, I., Zeger, S., 2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities 1987-1994. *N. Eng. J. Med.* **343**, 1742–1749.

-
- Samoli, E., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Anderson, H.R., Sunyer, J., et al., 2005. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ. Health Perspect.* **113**, 88–95.
- Samoli, E., Touloumi, G., Schwartz, J., Anderson, H.R., Schindler, C., Forsberg, B., et al., 2007. Short-term effects of carbon monoxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Environ. Health Perspect.* **115**, 1578–1583.
- Sartor, F., Snacken, R., Demuth, C., Walckiers, D., 1995. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium. *Environ. Res.* **70**, 105–113.
- Sartor, F., Demuth, C., Snacken, R., Walckiers, D., 1997. Mortality in the elderly and ambient ozone concentration during the hot summer, 1994, in Belgium. *Environ. Res.* **72**, 109–117.
- Sauberer, F., 1948. *Wetter, Klima und Leben - Grundziige der Bioklimatologie*. Verlag Brfider Hollinek, Wien.
- Schwartz, J., 1999 Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties. *Epidemiology.* **10**, 17–22.
- Schwartz, J., 2003. Daily deaths associated with air pollution in six US cities and short-term mortality displacement in Boston. In: Revised Analyses of Time-series Studies of Air Pollution and Health. *Special Report. Health Effects Institute*, Boston, MA, pp. 219–226.
- Schwartz, J., Samet, J.M., Patz, J.A., 2004. Hospital admissions for heart disease: The effects of temperature and humidity. *Epidemiology* **15**, 755–761.
- Semenza, J.C., Rubin, C.H., Falter, K.H., Selanikio, J.D., Flanders, W.D., Howe, H.L., Wilhelm, J.L., 1996. Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *N. Engl. J. Med.* **335**, 84–90.
- Sheridan, S.C., 2007. A survey of public perception and response to heat warnings across four North American cities: an evaluation of municipal effectiveness. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 3–15.
- Spix, C., Heinrich, J., Dockery, D., Schwartz, J., Volksch, G., Schwinkowski, K., Collen, C., Wichmann, H.E., 1993. Air pollution and daily mortality in Erfurt, East Germany, 1980–1989. *Environ Health Perspect.* **101**, 518–526.
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., de'Donato, F., De Lisio, S., De Maria, M., Michelozzi, P., Miglio, R., Pandolfi, P., Picciotto, S., Rognoni, M., Russo, A., Scarnato, C., Perucci, C.A., 2006. Vulnerability to heat-related mortality. A multicity, population-based, case-crossover analysis. *Epidemiology* **17**, 315–323.
- Steadman, R.G., 1979. The assessment of sultriness, Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteorol.* **18**, 861–873.

-
- Stieb D., Szyszkowicz M., Rowe B., Leech J., 2009. Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environmental Health* **8**, 25. doi: 10.1186/1476-069X-8-25
- Touloumi, G., Katsouyanni, K., Zmirou, D. et al., 1997. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Am. J. Epidemiol.* **146**, 177–185.
- Touloumi, G., Samoli, E., Katsouyanni, K., 1996. Daily mortality and ‘winter type’ air pollution in Athens, Greece. A time-series analysis within the APHEA project. *J. Epidemiol. Common Health.* **50**, 47–51.
- Ungeheuer, H., 1955. Ein meteorologischer Beitrag zu Grundproblemen der Medizinmeteorologie. *Berichte DWD* 3 (16).
- Vaneckova, P., Beggs, P.J., Dear, R.J., Kevin, W., McCracken, J., 2008. Effect of temperature on mortality during the six warmer months in Sydney, Australia, between 1993 and 2004. *Environmental Research* **108**, 361–369.
- Wilson A., Wake P., Kelly T., Salloway J., 2005. Air pollution, weather, and respiratory emergency room visits in two northern New England cities: an ecological time-series study. *Environmental Research* **97**, 312–321.
- Vaneckova, P., Hart, M.A., Beggs, P.J., Dear, R.J., 2008. Synoptic analysis of heat-related mortality in Sydney, Australia, 1993–2001. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 439–451.
- Xu, X., Gao, J., Dockery, D.W., Chen, Y., 1994. Air pollution and daily mortality in residential areas of Beijing, China. *Arch. Environ. Health* **49**, 216–222.
- Zeka, A., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2005. Short term effects of particulate matter on cause specific mortality: effects of lags and modification by city characteristics. *Occup. Environ. Med.* **62**, 718–725.
- Zmirou, D., Schwartz, J., Saez, M. et al., 1998. Time-series analysis of air pollution and cause-specific mortality. *Epidemiology* **9**, 495–503.
- <http://apps.who.int/classifications/apps/icd/icd10online/>
- <http://www.ine.es/>
- http://www.wmo.int/pages/index_en.html

Capítulo 2:

TIPOS DE TIEMPO

Las distintas combinaciones de las variables meteorológicas que se prolongan temporalmente dan lugar a los denominados tipos de tiempo. Para comprender mejor el clima de un lugar concreto los investigadores han tratado de establecer clasificaciones que pudieran ser de utilidad en este sentido.

2.1. TIPOS DE TIEMPO SUBJETIVOS

Inicialmente se estudiaron los tipos de tiempo mediante la situación sinóptica diaria predominante, con el fin de obtener unas configuraciones isobáricas determinadas. A todos los días cuyas isóbaras presentaban esa forma, se les asignaba el mismo tipo de tiempo.

Lamb (1950) realizó un primer intento de clasificar manualmente los patrones sinópticos mediante un modelo subjetivo. Definió los sistemas sinópticos de acuerdo con las diferentes corrientes de aire para las Islas Británicas desde 1898 hasta 1947. Después, Hess y Brezowsky (1952) describieron un catálogo a gran escala de los patrones climáticos en Europa Central.

Posteriormente, el modelo de Lund (1963), basado en el análisis de las correlaciones entre campos de presión, fue aplicado por otros investigadores con técnicas diferentes (Paegle y Kirulff, 1974; Overland y Heister, 1980; Yarnal, 1984).

Estos métodos se basan en interpretaciones visuales de los mapas sinópticos en superficie. No obstante, tienen inconvenientes, como la dependencia de la asignación de un mapa con un patrón particular (Casado et al. 2009).

Se lograban, de esta forma, modelos que constituían clasificaciones de aplicación subjetiva, en las que el clasificador encuadraba una determinada situación en uno u otro tipo, según su criterio.

Para el estudio de los tipos de tiempo en la Península Ibérica Font (1983) partió de la contracción y expansión del vórtice circumpolar, definido como circulación cerrada en torno al polo, característica del movimiento teórico del aire sobre la superficie terrestre o circulación general de la atmósfera. De esta forma obtuvo 23 tipos de tiempo, correspondientes a situaciones meteorológicas que se mantienen, en sus rasgos generales, durante tres o más días. Tal clasificación puede reducirse a seis tipos o familias de situaciones sinópticas, acudiendo a las características comunes que contienen, lo que se concreta en los siguientes grupos: circulación zonal, circulación meridiana, depresión fría, circulación

a latitudes altas, y circulación a latitudes bajas. El último tipo agruparía los días que no se corresponden con ninguno de los anteriores.

Estos sistemas se han empleado en Meteorología para la investigación de las precipitaciones de Castilla y León (Fraile, 1988).

Las clasificaciones obtenidas por los métodos subjetivos han permitido conseguir registros climáticos que muestran que hay sistemas sinópticos dominantes en el área seleccionada en cada estación (Alpert et al., 2004).

2.2. TIPOS DE TIEMPO OBJETIVOS

Actualmente los tipos de tiempo obtenidos por métodos subjetivos están siendo relegados en beneficio de los tipos de tiempo clasificados por métodos objetivos, como los desarrollados por Spellman (2000), que tienen la ventaja de ser independientes del observador. Los modelos de clasificación automática de la situación sinóptica fueron inicialmente desarrollados para las Islas Británicas (Jones et al. 1993).

Jenkinson y Collison (1977) iniciaron esta línea de trabajo con la introducción de Índices y reglas de clasificación. Más tarde, Briffa (1995) aportó reglas objetivas basadas en el viento geostrofico y la vorticidad.

Estas clasificaciones objetivas se han empleado para el estudio de la relación de la actividad eléctrica de las tormentas con la circulación atmosférica (Tomás et al., 2004), así como para estudios predictivos de precipitación (Heyen et al., 1996; Zorita y Von Storch, 1997).

En los últimos años varios autores han publicado diferentes modelos de clasificación automatizados para la Península Ibérica, la mayoría de los cuales están conectados para una aplicación climática específica. Goodess

y Palutikof (1998), adaptaron uno de estos métodos para el Sureste de España.

En la mayor parte de las técnicas sinópticas empleadas, cada uno de los días analizados se clasifica según clases discretas, caracterizadas por flujos de aire dominantes que describen las situaciones meteorológicas más importantes asociadas con cada uno de estos tipos.

En estos métodos se parte de los datos de presión obtenidos en una red de puntos, que pueden variar en cuanto a su número y a su localización. Así Jones et al. (1993) emplearon una malla de 16 puntos sobre las Islas Británicas; Goodess y Jones (2002) utilizaron una red de 32 puntos para el estudio de la precipitación sobre la Península Ibérica.

En el caso de Castilla-La Mancha, los índices asociados con la dirección y vorticidad del flujo geostrófico son útiles para la caracterización de la circulación atmosférica. Por la definición de viento geostrófico, la diferencia de presión entre dos puntos se puede utilizar como una valoración de la intensidad asociada con la perpendicular de dirección a la línea que une ambos puntos. Es decir, la diferencia de presión entre puntos localizados al Sur y al Norte de una zona, permitirá un índice del flujo del Oeste. De la misma manera, las diferencias de presión entre puntos localizados al Oeste o al Este del punto considerado darán el flujo del Sur. La composición de ambos flujos da lugar a la componente de flujo total.

Los tipos de tiempos se han utilizado, ya desde antiguo, para el estudio de la relación entre los datos de morbilidad y mortalidad y los relativos a variaciones atmosféricas. Tales investigaciones se han realizado, asimismo, de manera gradualmente más elaborada, con la introducción de variables atmosféricas, bien de manera monovariante, con un solo

parámetro (generalmente la temperatura), bien de manera bivariante (con la temperatura y la humedad relativa o la velocidad del viento). En este sentido cabe destacar los estudios de Kalkstein (1991), Kalkstein y Greene (1997) y McGregor (2001) en relación con la mortalidad. También son de reseñar los estudios de Pajares et al. (1997), González et al. (2001), y García Herrera et al. (2005).

Algunos autores, como Jones et al. (1993), han comparado las clasificaciones de tipos de tiempo subjetivas con las objetivas, sin encontrar diferencias significativas entre los tipos ciclónico y anticiclónico. Por otro lado, Kysely y Huth (2006) también compararon los métodos objetivos y subjetivos de clasificación para analizar cambios en la circulación atmosférica en la zona Euro-Atlántica.

2.3. METODOLOGÍA

El procedimiento descrito por Lamb (1972), y más tarde desarrollado por Jenkinson y Collison (1977) y Jones *et al.* (1993), ha sido el empleado para definir objetivamente los tipos de tiempo, a partir de Índices basados en la dirección y vorticidad del viento geostrófico. Fue utilizado posteriormente por Trigo y DaCamara (2000) para el estudio del régimen de precipitaciones de Portugal.

La clasificación de tipos de tiempo efectuada tiene un carácter objetivo, y establece cada tipo de tiempo en función de seis variables, calculadas según los valores de presión atmosférica, medidos diariamente a nivel del mar, de 16 puntos situados sobre el entorno de la Península Ibérica (Fig. 2.1). Los valores de la presión en superficie se obtuvieron del

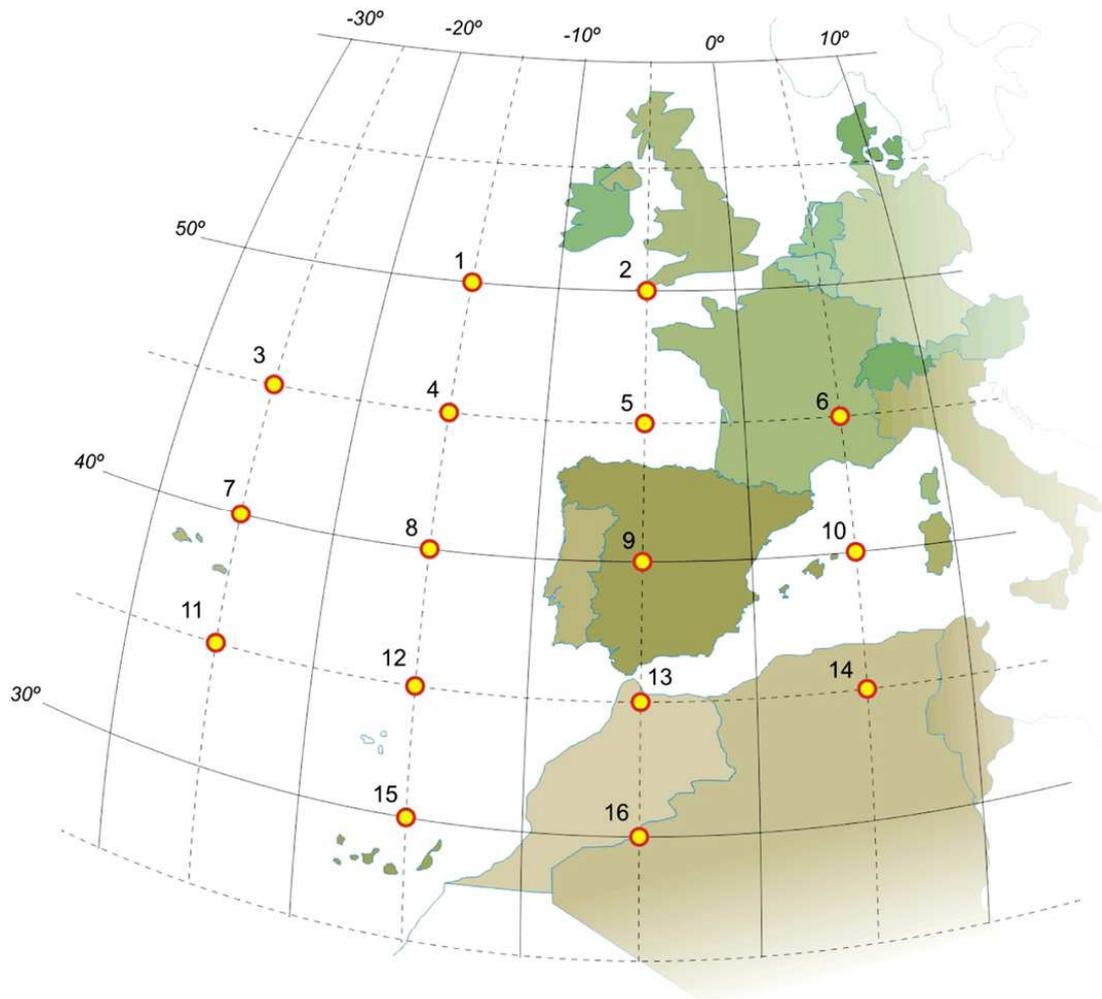


Fig. 2.1. Red formada por los 16 puntos de los que se obtienen los valores de la presión

IRI (*International Research Institute for Climate Prediction*) en <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.pressure.html>. Se utilizó la misma malla que en el estudio realizado por Trigo y DaCamara (2000) (las presiones al nivel del mar en estos puntos vienen representadas en las fórmulas de más abajo como $p_1, p_2, p_3 \dots p_{16}$). Los seis parámetros utilizados son: flujo del Sur (SF), flujo del Oeste (WF), flujo total (F), vorticidad del Sur (ZS), vorticidad del Oeste (ZW) y vorticidad total (Z).

En primer lugar es necesario calcular tales parámetros:

- Flujo del Sur (SF): componente del Sur del viento geostrófico superficial, se calcula mediante la diferencia de presión entre 5° O y 15° O.

- Flujo del Oeste (WF): componente del Oeste del viento geostrófico superficial, se calcula mediante la diferencia de presión entre 35° N y 45° N.

- Flujo total (F): total resultante de los flujos del Oeste y del Sur.

- Vorticidad del Sur (ZS): diferencia del flujo del Sur entre los 5° E y los 5° O, menos la que existe entre los 15° N y los 25° N.

- Vorticidad del Oeste (ZW): diferencia del flujo del Oeste entre los 30° N y los 40° N, menos la que existe entre los 40° N y los 50° N.

- Vorticidad total (Z): suma de la vorticidad del Sur más la del Oeste.

Estos 6 parámetros se estiman de la siguiente forma:

$$SF = 1,305 [0,25 (p_5 + 2p_9 + p_{13}) - 0,25 (p_4 + 2p_8 + p_{12})]$$

$$WF = 0,5 (p_{12} + p_{13}) - 0,5 (p_4 + p_5)$$

$$F = (SF^2 + WF^2)^{1/2}$$

$$ZS = 0,85 \times [0,25 (p_6 + 2p_{10} + p_{14}) - 0,25 (p_5 + 2p_9 + p_{13}) - 0,25 (p_4 + 2p_8 + p_{12}) + 0,25 (p_3 + 2p_7 + p_{11})]$$

$$ZW = 1,12 \times [0,5 \times (p_{15} + p_{16}) - 0,5 \times (p_8 + p_9)] - 0,91 \times [0,5 (p_8 + p_9) - 0,5 \times (p_1 + p_2)]$$

$$Z = ZS + ZW$$

Las constantes (1,305; 0,85; 1,12 y 0,91) reflejan las diferencias relativas entre la separación de la red de puntos en las direcciones Este-Oeste y Norte-Sur, calculadas siguiendo la metodología de El Dessouky y Jenkinson (1975). Los multiplicadores (0,5 y 0,25) reflejan el número de

puntos de la cuadrícula que se utilizan (cuádruple de los empleados por Jenkinson y Collison, 1977). Las unidades del flujo geostrófico y la vorticidad están expresadas en hPa por cada 10° de latitud en la latitud central (40° N).

Para definir los distintos tipos de circulación se emplearán las condiciones descritas en el estudio de Trigo y DaCamara (2000), que son las siguientes:

- Para establecer la dirección del viento se usa la fórmula:

$$\alpha = \arctg (WF/SF)$$

Se tiene que añadir 180° si SF es negativo. Resultan 8 direcciones de viento, abarcando cada una un sector de 45°.

- Si $|Z| < F$: se clasificará como tipo de tiempo direccional, con lo que resultan 8 tipos, que se corresponden con las direcciones puras de procedencia de la masa del aire (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW).

- Si $|Z| > 2F$: se clasificará como tipo de tiempo no direccional, que a su vez podría ser ciclónico o bien anticiclónico, en función del signo de Z:

$Z < 0$: Anticiclónico.

$Z > 0$: Ciclónico.

- Si $F < |Z| < 2F$: se clasificará como un tipo de tiempo híbrido (existiendo 16 tipos de tiempo diferentes en función del signo de Z y de la dirección del viento).

Con este método se clasifica la situación sinóptica de cada día, en uno de los 26 tipos posibles de circulación atmosférica, que se estudian en el apartado siguiente.

2.4. CARACTERÍSTICAS DE CADA TIPO DE TIEMPO

Se muestra a continuación (Tabla 2.1) la relación de los 26 tipos de tiempo originales, esto es, los 8 tipos direccionales, los 2 tipos no direccionales (controlados por la vorticidad geostrófica), y los 16 tipos híbridos.

Los nombres que corresponden a cada sigla son los siguientes:

N:	tipo de tiempo Norte
NE:	tipo de tiempo Nordeste
E:	tipo de tiempo Este
SE:	tipo de tiempo Sureste
S:	tipo de tiempo Sur
SW:	tipo de tiempo Suroeste
W:	tipo de tiempo Oeste
NW:	tipo de tiempo Noroeste
A:	tipo de tiempo Anticiclónico
C:	tipo de tiempo Ciclónico
HCN:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Norte
HCNE:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Nordeste
HCE:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Este
HCSE:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Sureste
HCS:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Sur

HCSW:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Suroeste
HCW:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Oeste
HCNW:	tipo de tiempo Híbrido Ciclónico Noroeste
HAN:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Norte
HANE:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Nordeste
HAE:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Este
HASE:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Sureste
HAS:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Sur
HASW:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Suroeste
HAW:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Oeste
HANW:	tipo de tiempo Híbrido Anticiclónico Noroeste

Tabla 2.1. Los 26 tipos de tiempo originales

Tipos direccionales		Tipos no direccionales		Tipos híbridos	
N		A		HCN	HAN
NE		C		HCNE	HANE
E				HCE	HAE
SE				HCSE	HASE
S				HCS	HAS
SW				HCSW	HASW
W				HCW	HAW
NW				HCNW	HANW

De todos los tipos anteriores, dos de ellos, A y C, se consideran “no direccionales”. Los tipos puros o direccionales se caracterizan por un determinado componente de viento predominante, sin influencia relevante de anticiclón o borrasca. Los restantes se denominan “híbridos”, por ser resultado de la combinación de uno de los dos tipos no direccionales con los ocho tipos de viento predominantes. Se resumen a continuación sus características (Fernández, 2010). Los mapas sinópticos mostrados provienen de *www.wetterzentrale.de*.

N (Fig. 2.2): Días caracterizados por la situación del anticiclón de las Azores al Norte de las Azores y bajas presiones sobre el Sur de Europa y el Mediterráneo. Dicho anticiclón bloquea la circulación zonal del oeste hacia la península Ibérica. Es importante en invierno, ya que, aunque la situación dure pocos días, ocasiona las denominadas “olas de frío”, con importantes descensos de la temperatura, debidos a la entrada de aire ártico.

NE (Fig. 2.3): Días caracterizados por extensas zonas de altas presiones sobre las Azores hacia el Noreste y por bajas presiones sobre la región mediterránea. La borrasca en el Mediterráneo central impulsa vientos de componente noreste sobre la península Ibérica. Se producen olas de frío, causadas por la masa de aire continental polar, caracterizadas por descensos bruscos de temperatura durante pocos días. Se trata de un tiempo seco, con nevadas en el caso de que la masa de aire continental polar levante la masa de aire cálido y húmedo que había sobre la península.

E (Fig. 2.4): Situaciones sinópticas caracterizadas por un anticiclón que se extiende por Europa Central, y una borrasca situada sobre el Norte de África, que impulsa vientos de componente este procedentes del Mediterráneo sobre España. En la península Ibérica es frecuente este tipo de tiempo en otoño y primavera, lo que origina lluvias en la costa

mediterránea, especialmente en zonas montañosas, por elevación del aire húmedo y cálido procedente del Mediterráneo, quedando el resto del territorio peninsular seco y soleado. Esta situación se asocia a fenómenos de gota fría o DANA (Depresión aislada en niveles altos).

SE (Fig. 2.5): Días caracterizados por regiones de bajas presiones desde Madeira hasta las Azores y por altas presiones sobre el Norte de Europa. Esta situación favorece la entrada de aire cálido y húmedo procedente del Mediterráneo o del Norte de África. Es más frecuente en otoño e invierno.

S (Fig. 2.6): Situaciones caracterizadas por bajas presiones sobre el Norte de las Azores y por altas presiones sobre Centroeuropa, con anticiclón sobre el Mediterráneo central u oriental. Esta situación sinóptica es característica del verano, con temperaturas elevadas y entrada de aire procedente de la masa continental tropical, que puede arrastrar consigo partículas procedentes del Sahara. Si el aire circula por el Mediterráneo se puede cargar de humedad, lo que puede dar lugar a precipitaciones- si bien escasas- en el Sur de la península. Es más frecuente en los meses de diciembre y enero.

SW (Fig. 2.7): Días caracterizados por un debilitamiento de las altas presiones sobre las Azores y un fortalecimiento de las bajas presiones entre Islandia y las Azores. En altura aparece una vaguada al Oeste o Noroeste de la península Ibérica. Es más frecuente durante el otoño y el invierno, si bien puede presentarse a lo largo de todo el año.

W (Fig. 2.8): Se caracteriza por un asentamiento de las altas presiones en las Azores a 30° N y por centros de bajas presiones al Oeste de las Islas Británicas. Al igual que el SW, para que se dé este tipo de tiempo es necesario que el anticiclón de las Azores se encuentre desplazado al Sur de

su posición de equilibrio. Una borrasca centrada en las islas Británicas impulsa aire de la masa marítima polar o marítima tropical hacia la península Ibérica. En esta situación sinóptica se dan precipitaciones, así como nubosidad abundante.

NW (Fig. 2.9): Días caracterizados por la situación del anticiclón de las Azores entre las Azores y la isla de Madeira, y centros de bajas presiones sobre el Norte de Francia. El anticiclón se encuentra algo debilitado, lo que permite que un frente asociado a la borrasca situada sobre las islas Británicas introduzca aire de la masa ártica en España. Origina temperaturas frías y precipitaciones en el Norte peninsular. Puede darse durante todo el año.

A (Fig. 2.10): Días caracterizados por centros de altas presiones sobre la península Ibérica, y entre la península Ibérica, Madeira y las islas Azores. El anticiclón de las Azores se encuentra algo desplazado al Este de estas islas, adentrándose su cuña en la península Ibérica. Puede darse en invierno, cuando la península Ibérica se comporta como una región fuente de una masa de aire muy fría, que actúa como barrera de frentes y borrascas oceánicas, ocasionando un tiempo muy estable. También puede presentarse si el anticiclón continental europeo extiende su radio de acción sobre la península Ibérica. En los días con este tipo de tiempo las precipitaciones son escasas, con tiempo estable.

C (Fig. 2.11): Situaciones sinópticas caracterizadas por un centro de bajas presiones sobre la costa oeste portuguesa, a veces acompañada por anticiclón entre Islandia y las islas Británicas. Tiene lugar cuando se produce un estancamiento de una borrasca procedente del flujo zonal NW. Este tipo de tiempo origina lluvias generalizadas y una moderada bajada de las temperaturas.

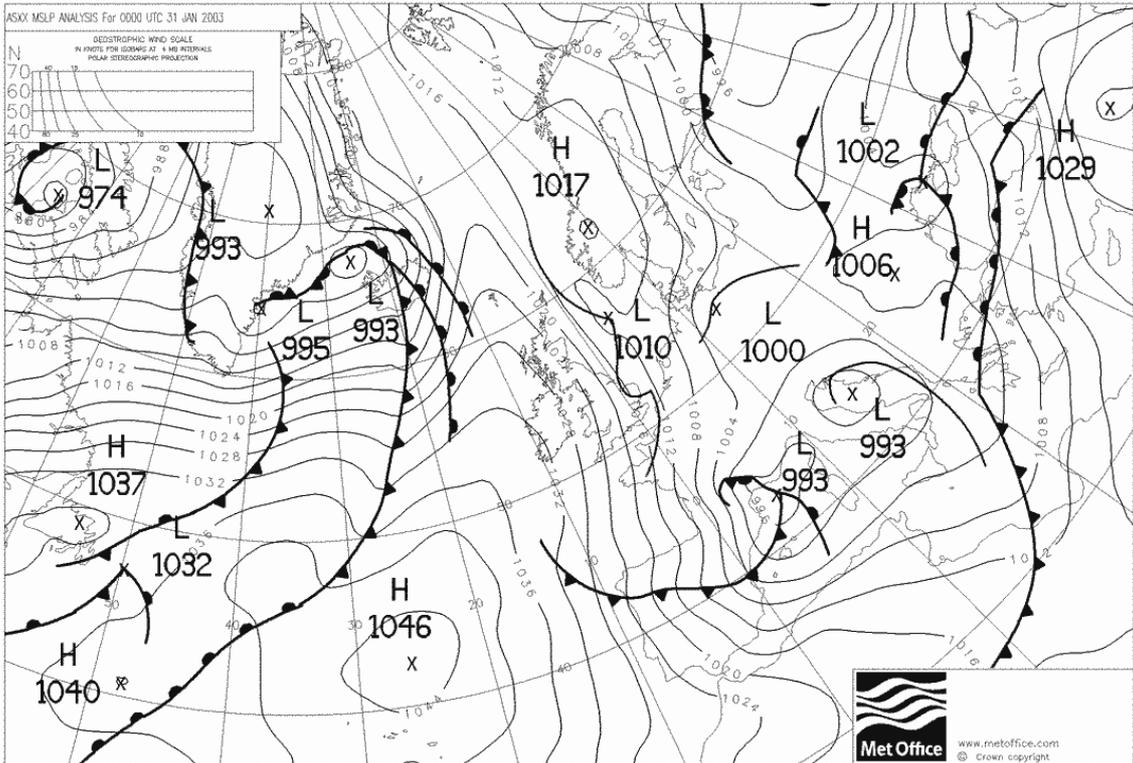


Fig. 2.2. Situación sinóptica del día 31.01.2003. "Norte" (N)

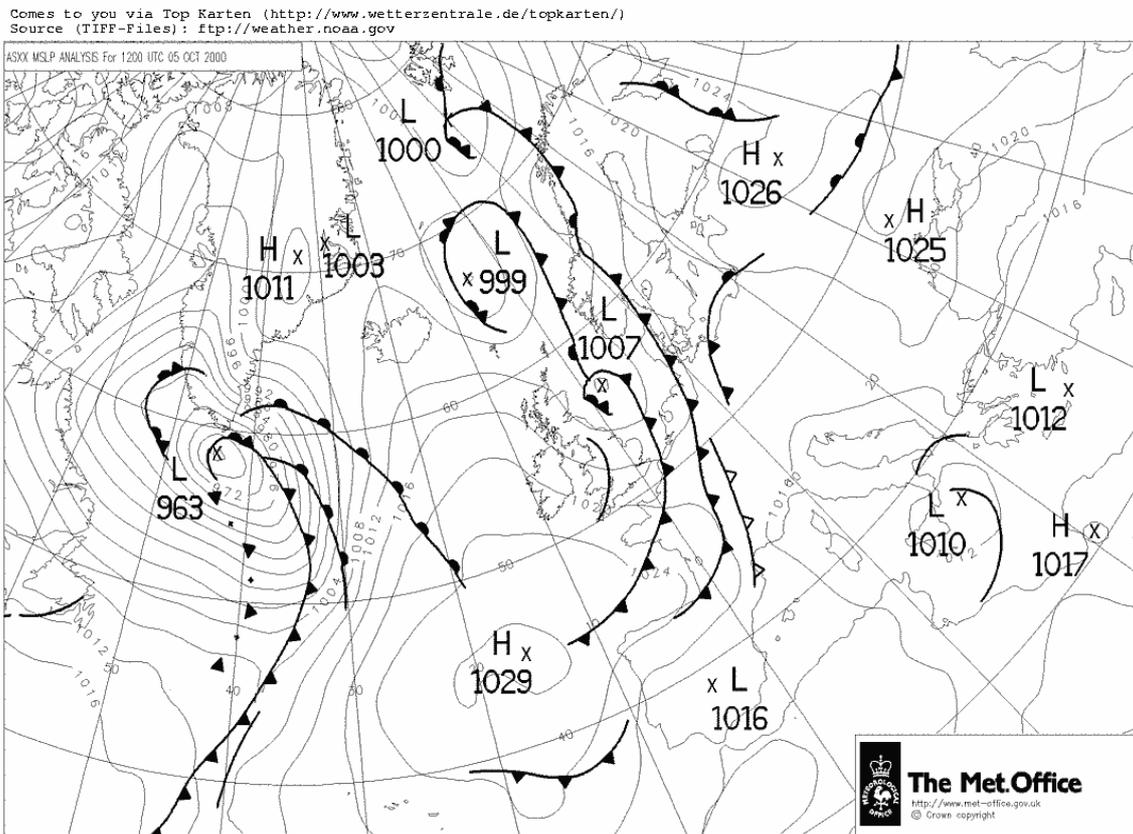


Fig. 2.3. Situación sinóptica del día 05.10.2000. "Nordeste" (NE)

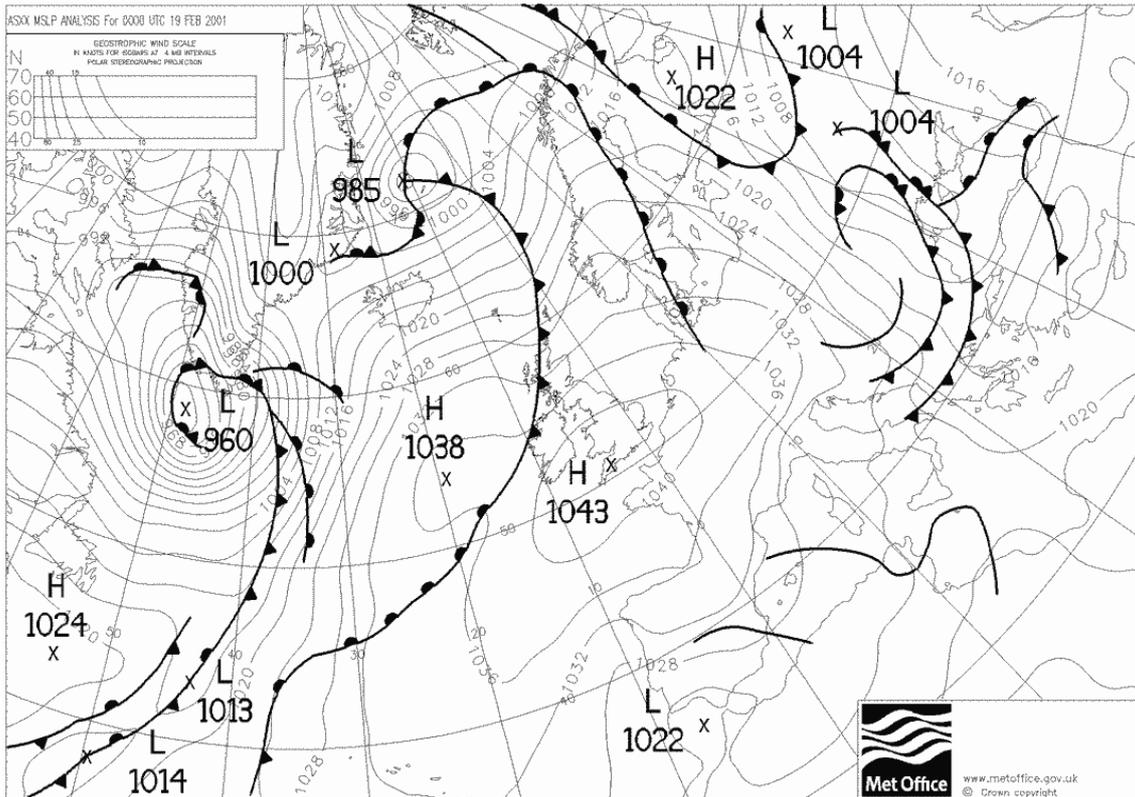


Fig. 2.4. Situación sinóptica del día 19.02.2001. "Este" (E)

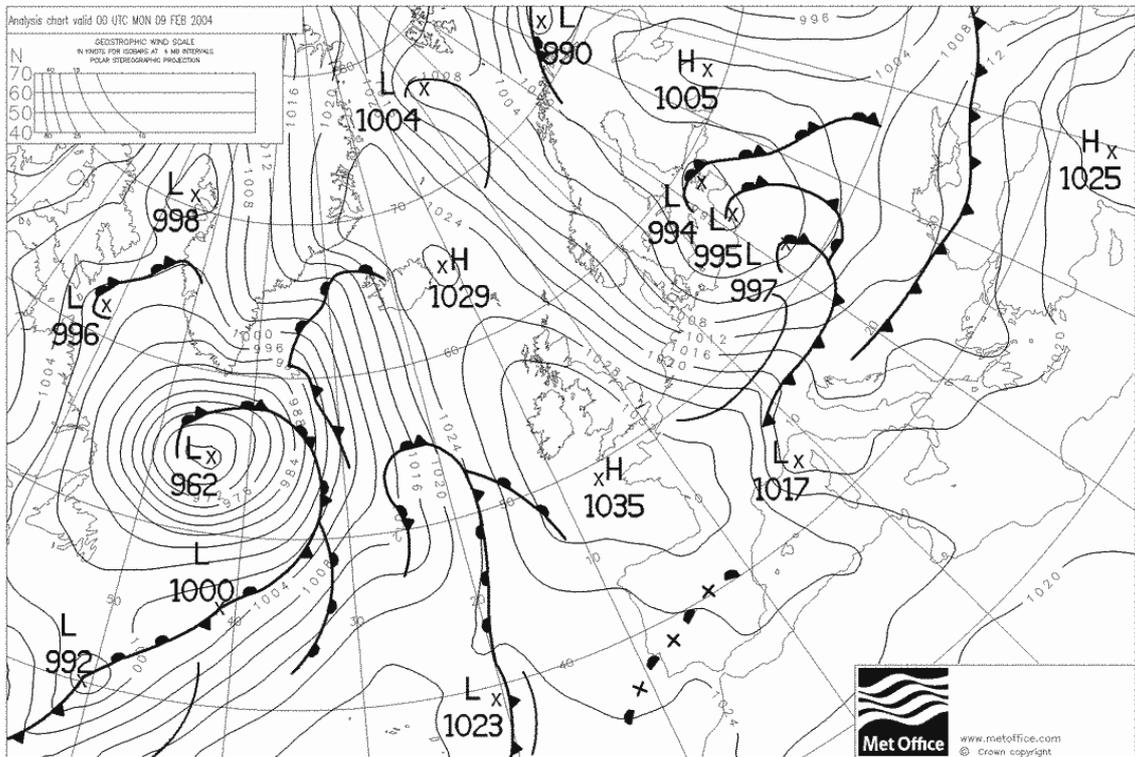


Fig. 2.5. Situación sinóptica del día 09.02.2004. "Sureste" (SE)

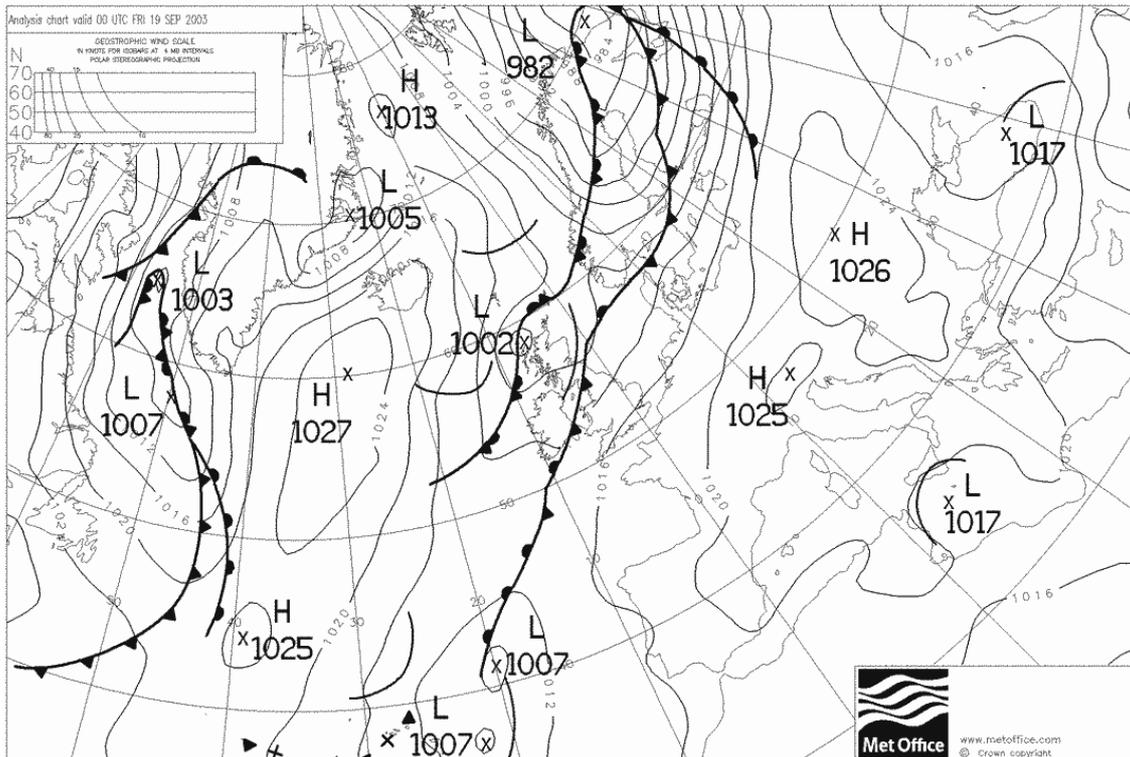


Fig. 2.6. Situación sinóptica del día 19.09.2003. "Sur" (S)

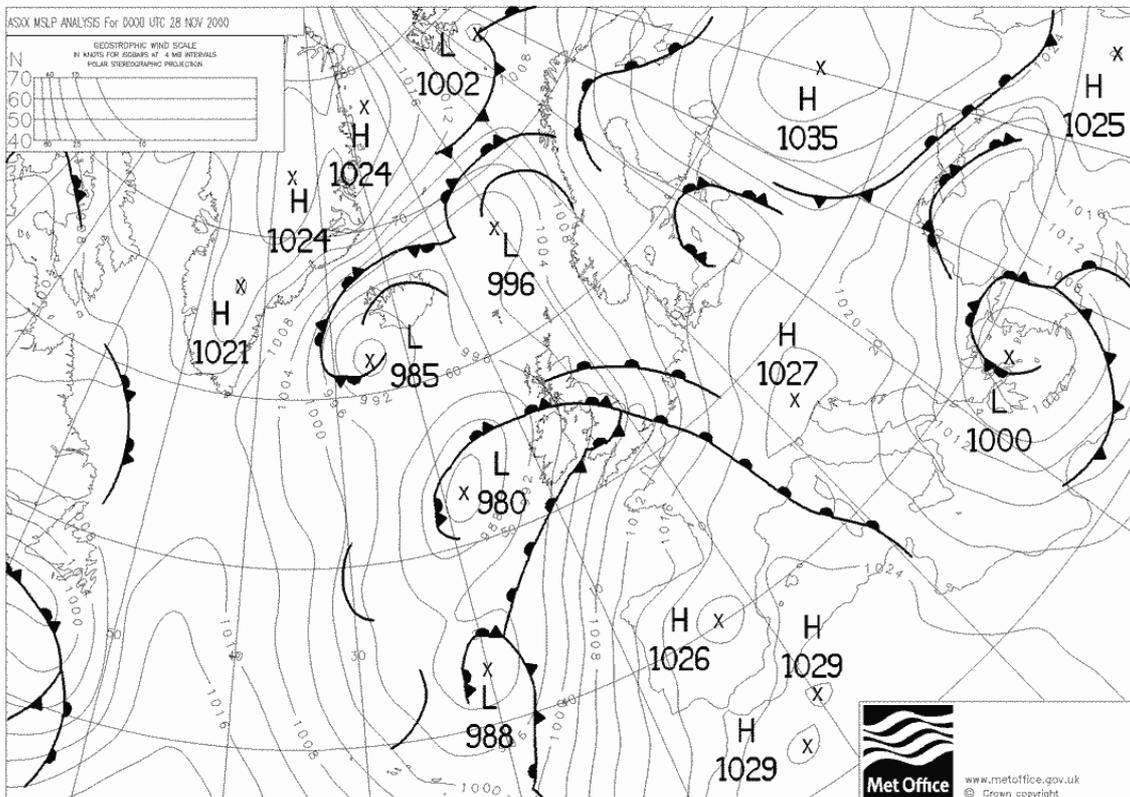


Fig. 2.7. Situación sinóptica del día 28.11.2000. "Suroeste" (SW)

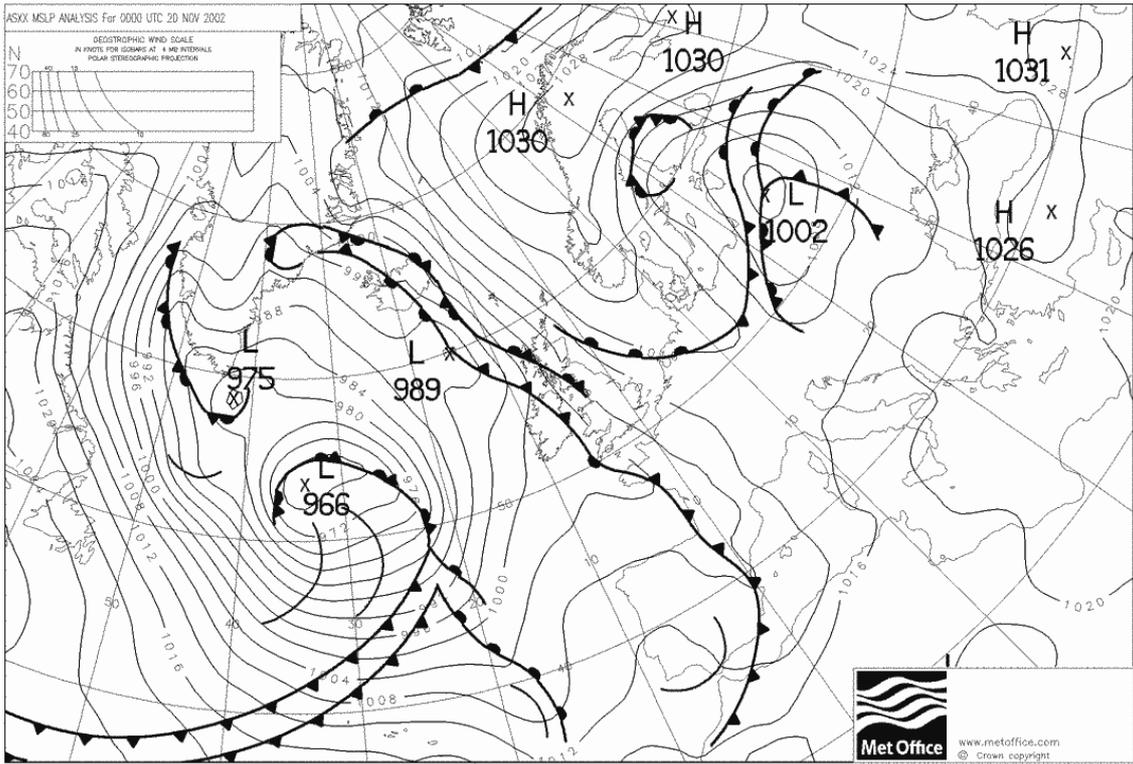


Fig. 2.8. Situación sinóptica del día 20.11.2002. "Oeste" (W)

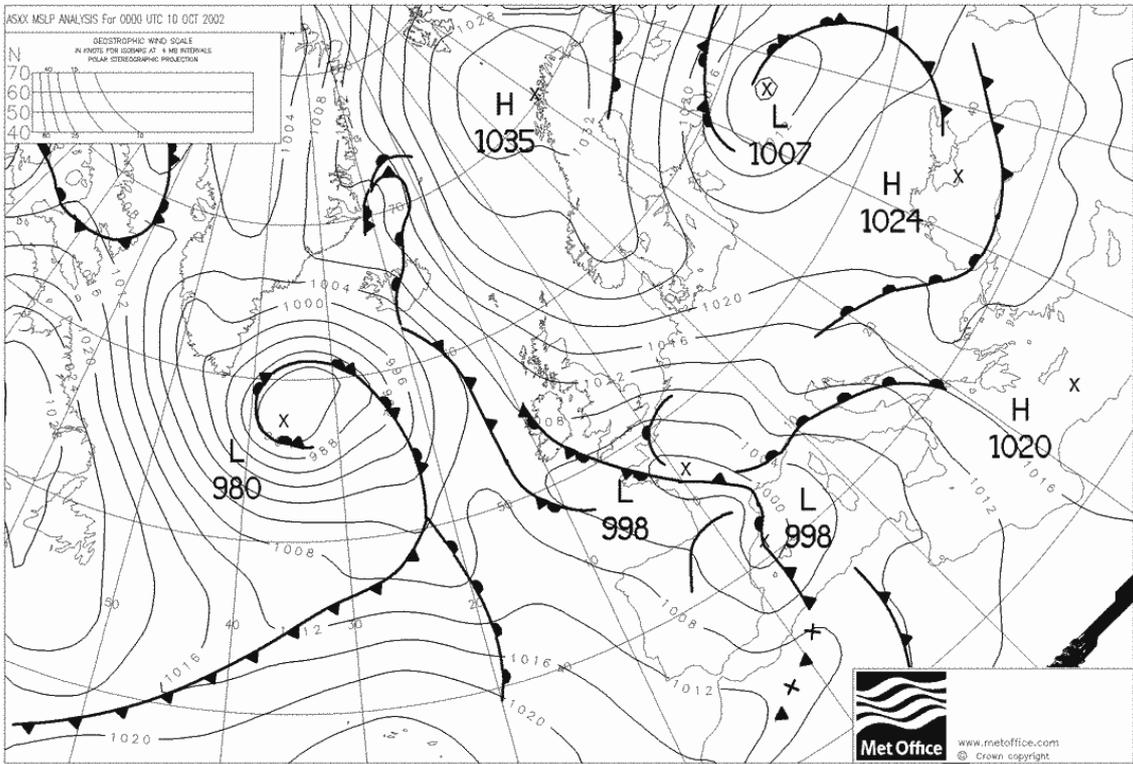


Fig. 2.9. Situación sinóptica del día 10.10.2002. "Noroeste" (NW)

Comes to you via Top Karten (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>)
 Source (TIFF-Files): <ftp://weather.noaa.gov>

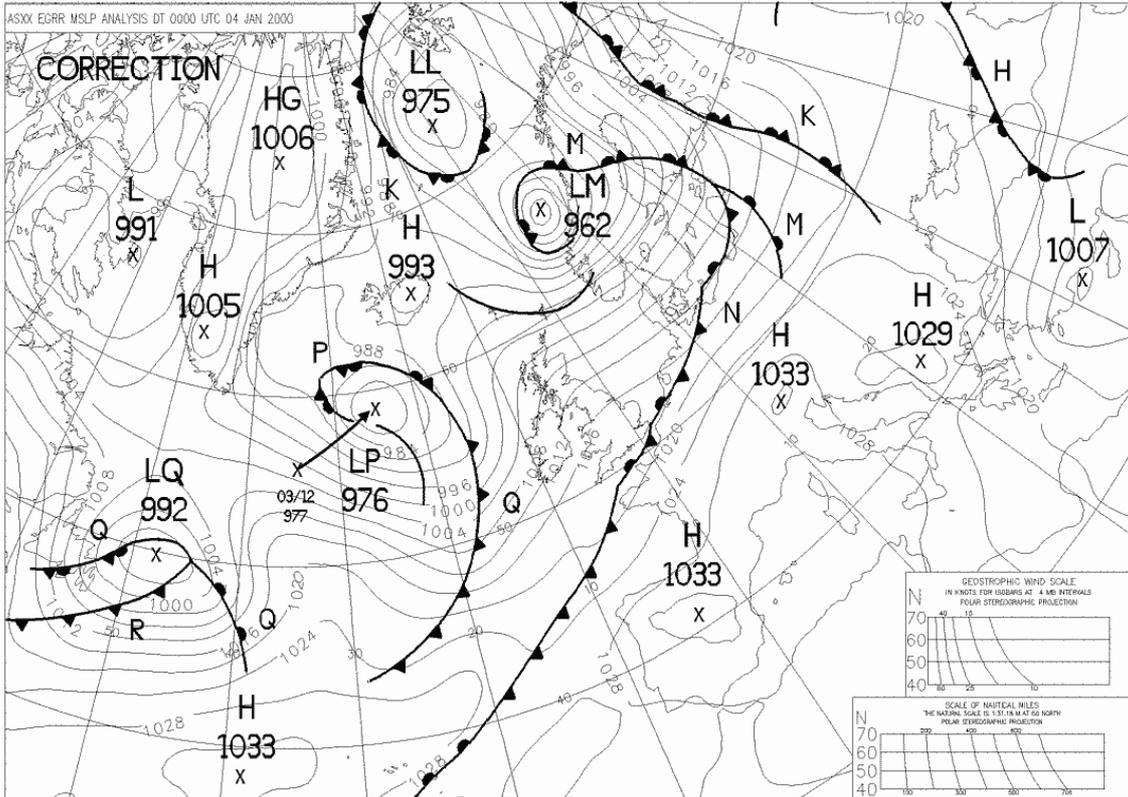


Fig. 2.10. Situación sinóptica del día 04.01.2000. "Anticiclónico" (A)

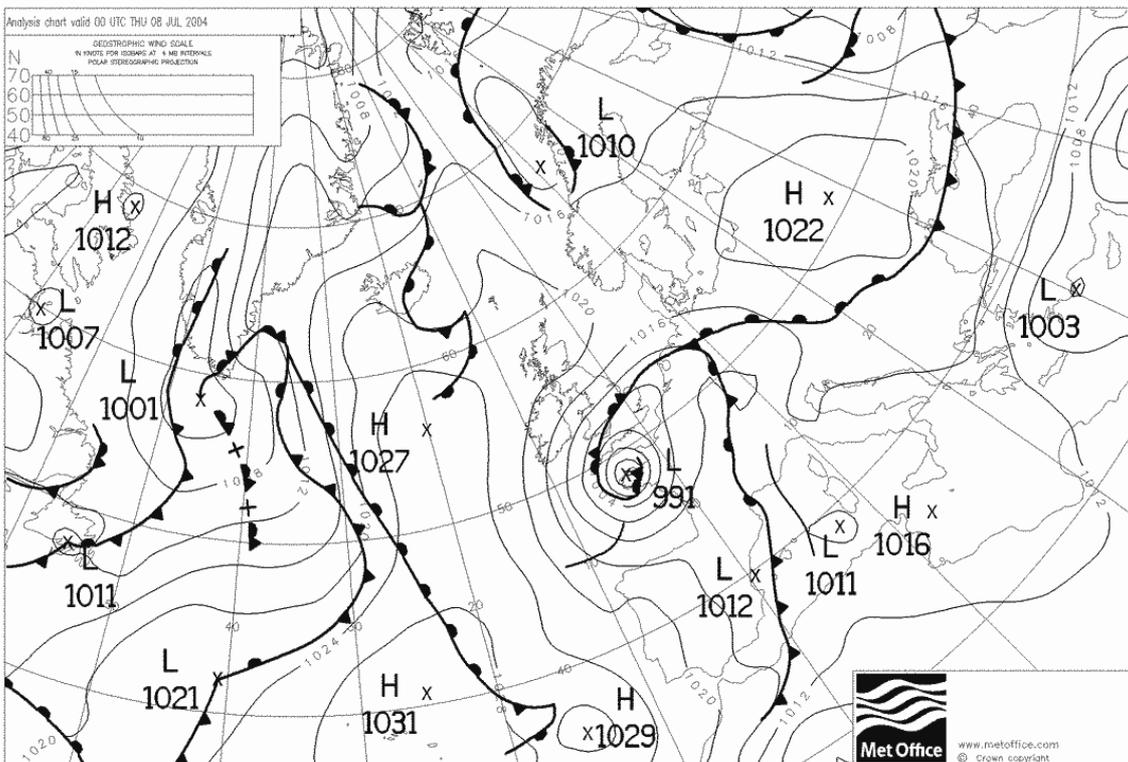


Fig. 2.11. Situación sinóptica del día 08.07.2004. "Ciclónico" (C)

Los 8 tipos de tiempo híbridos ciclónicos se diferencian asimismo entre sí por sus componentes de viento predominantes: HCN (Fig. 2.12), HCNE (Fig. 2.13), HCE (Fig. 2.14), HCSE (Fig. 2.15), HCS (Fig. 2.16), HCSW (Fig. 2.17), HCW (Fig. 2.18) y HCNW (Fig. 2.19).

Los 8 tipos híbridos anticiclónicos se diferencian entre sí por la procedencia de los vientos predominantes. Sus características son similares a las del A en los tipos HAN (Fig. 2.20), HANE (Fig. 2.21), HAE (Fig. 2.22), HASE (Fig. 2.23) y HAS (Fig. 2.24), mientras que los HASW (Fig. 2.25), HAW (Fig. 2.26) y HANW (Fig. 2.27) son más lluviosos.

Así, el tipo HAE se caracteriza por curvaturas ciclónicas y anticiclónicas de orientación NE - SW sobre la península Ibérica, asociadas con sistemas de bajas presiones sobre el Norte de África.

Análogamente, el tipo HAW se caracteriza por la presencia del límite oriental del anticiclón de las Azores cerca del Suroeste de la península Ibérica, así como por centros de bajas presiones sobre las islas Británicas.

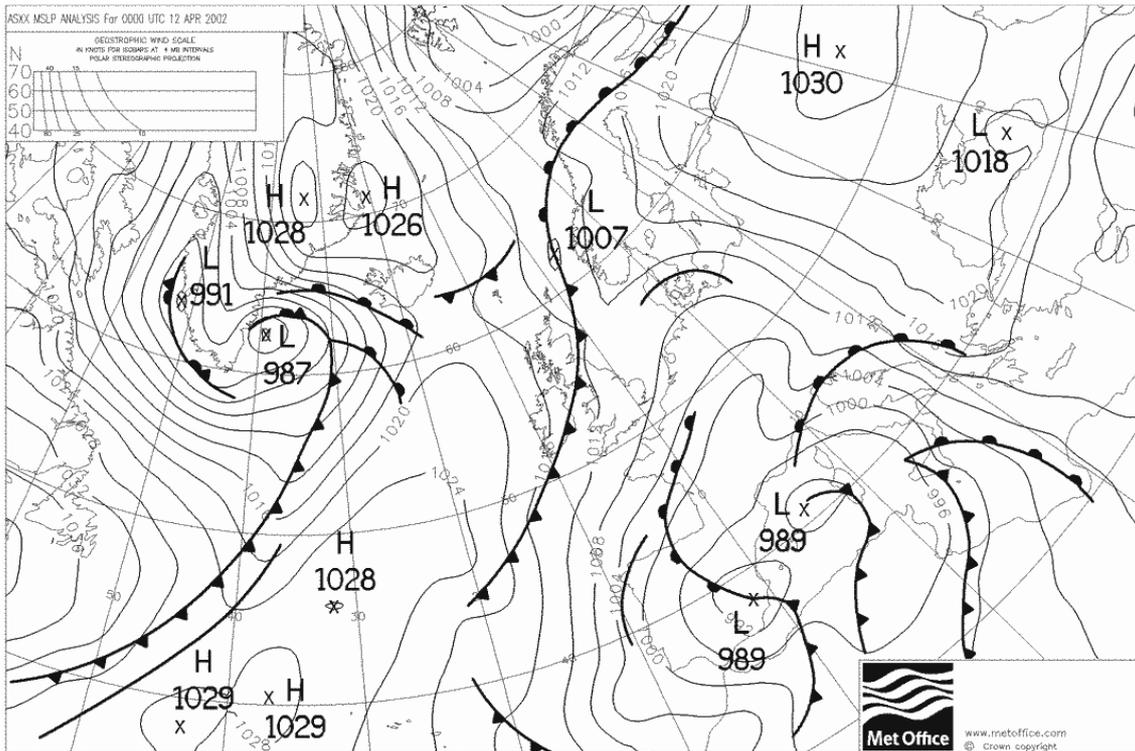


Fig. 2.12. Situación sinóptica del día 12.04.2002. "Híbrido Ciclónico Norte" (HCN)

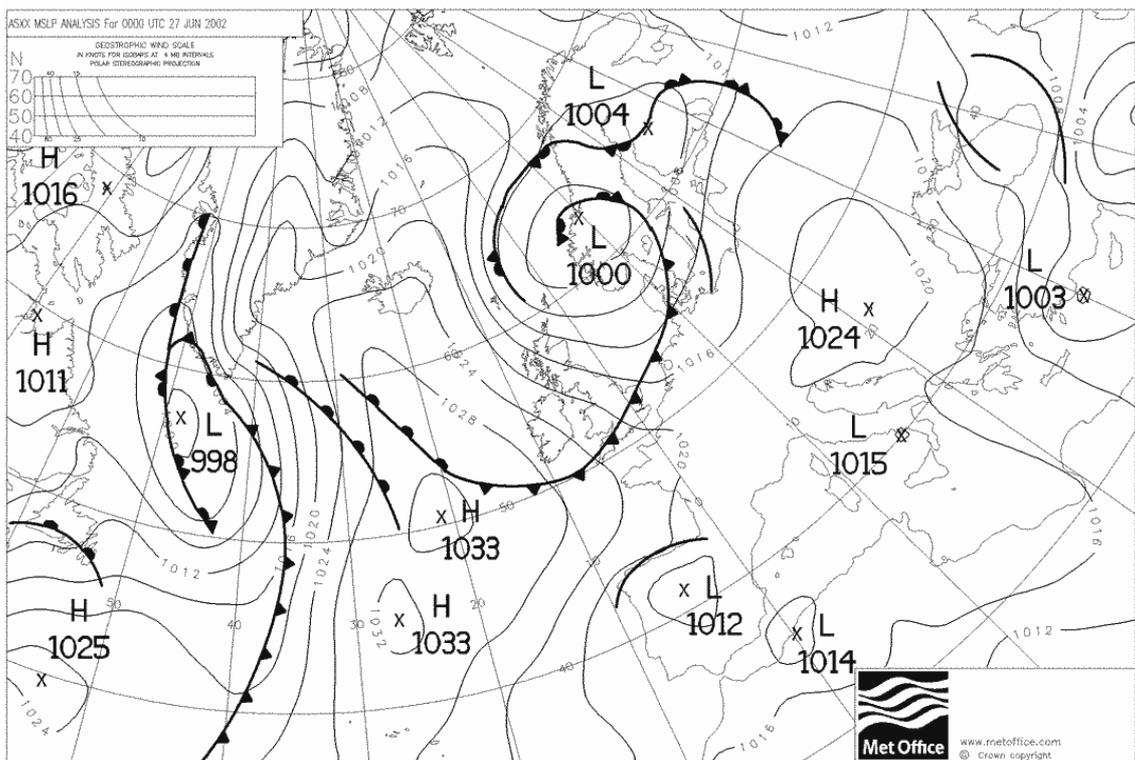


Fig. 2.13. Situación sinóptica del día 27.06.2002. "Híbrido Ciclónico Nordeste" (HCNE)

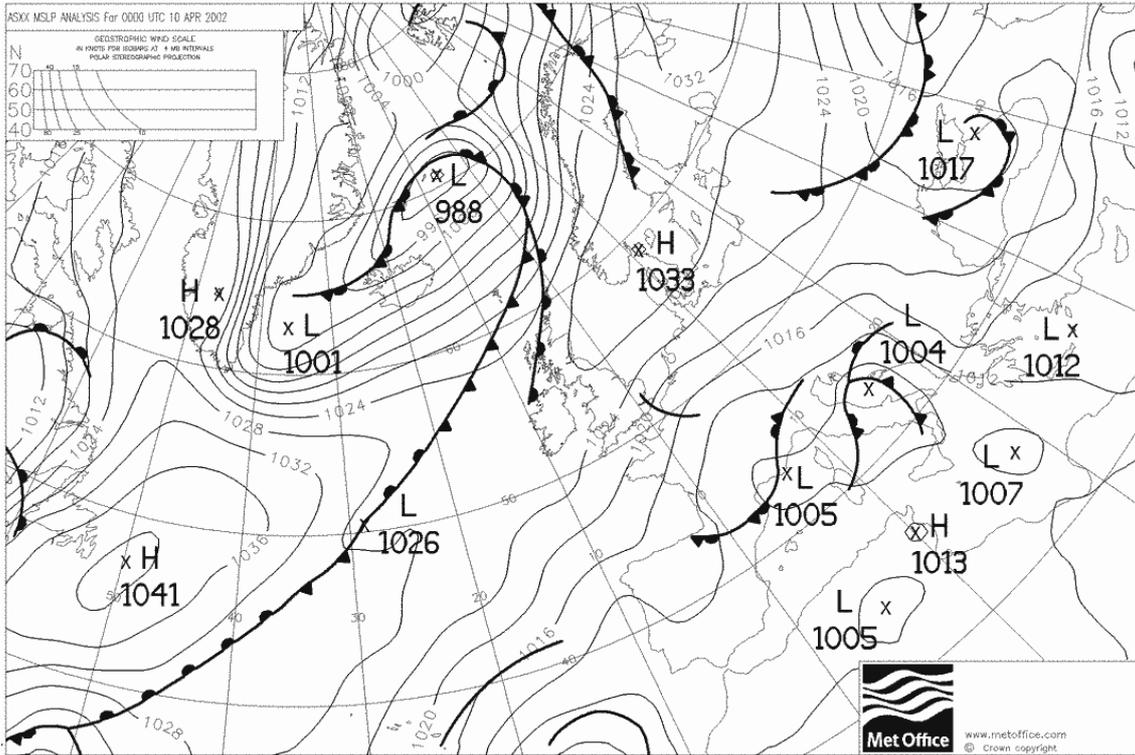


Fig. 2.14. Situación sinóptica del día 10.04.2002. "Híbrido Ciclónico Este" (HCE)

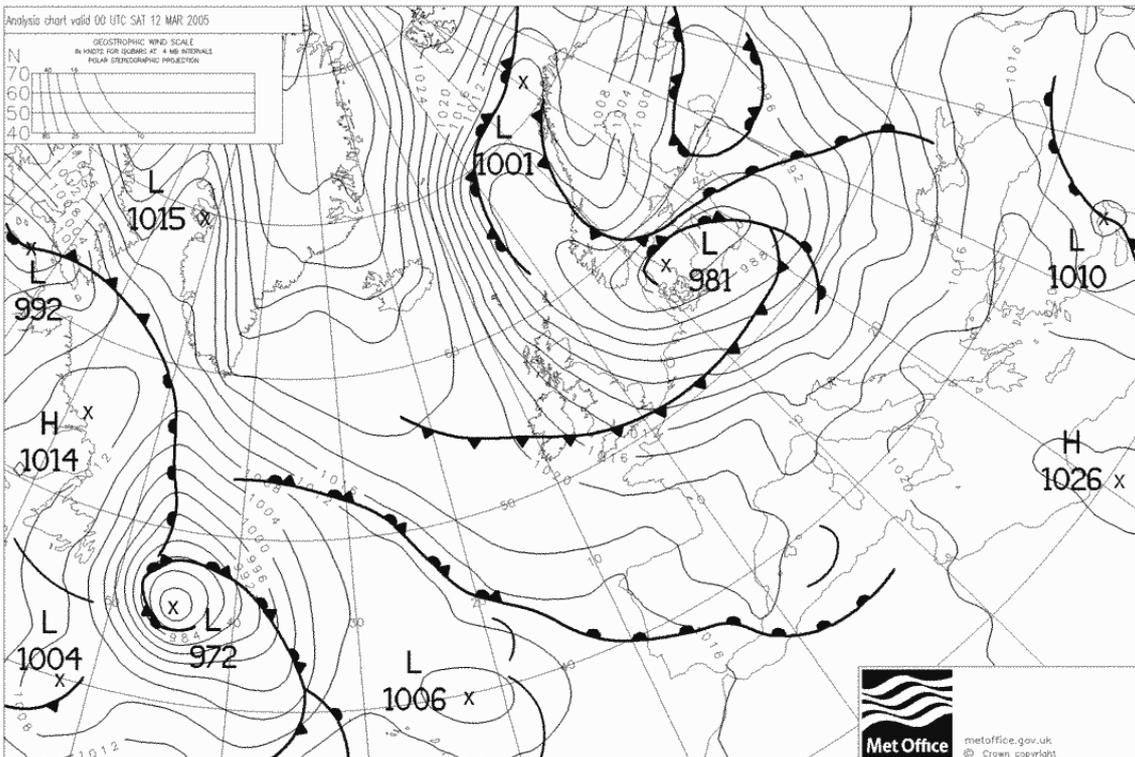


Fig. 2.15. Situación sinóptica del día 12.03.2005. "Híbrido Ciclónico Sureste" (HCSE)

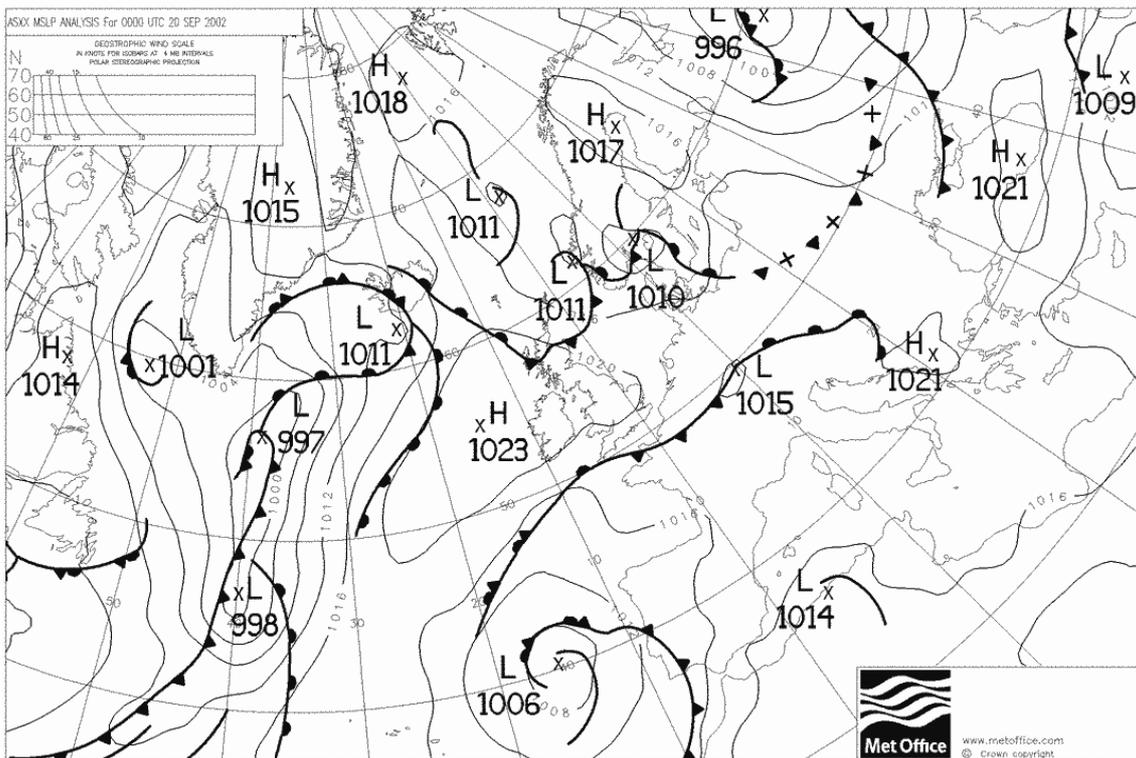


Fig. 2.16. Situación sinóptica del día 20.09.2002. "Híbrido Ciclónico Sur" (HCS)

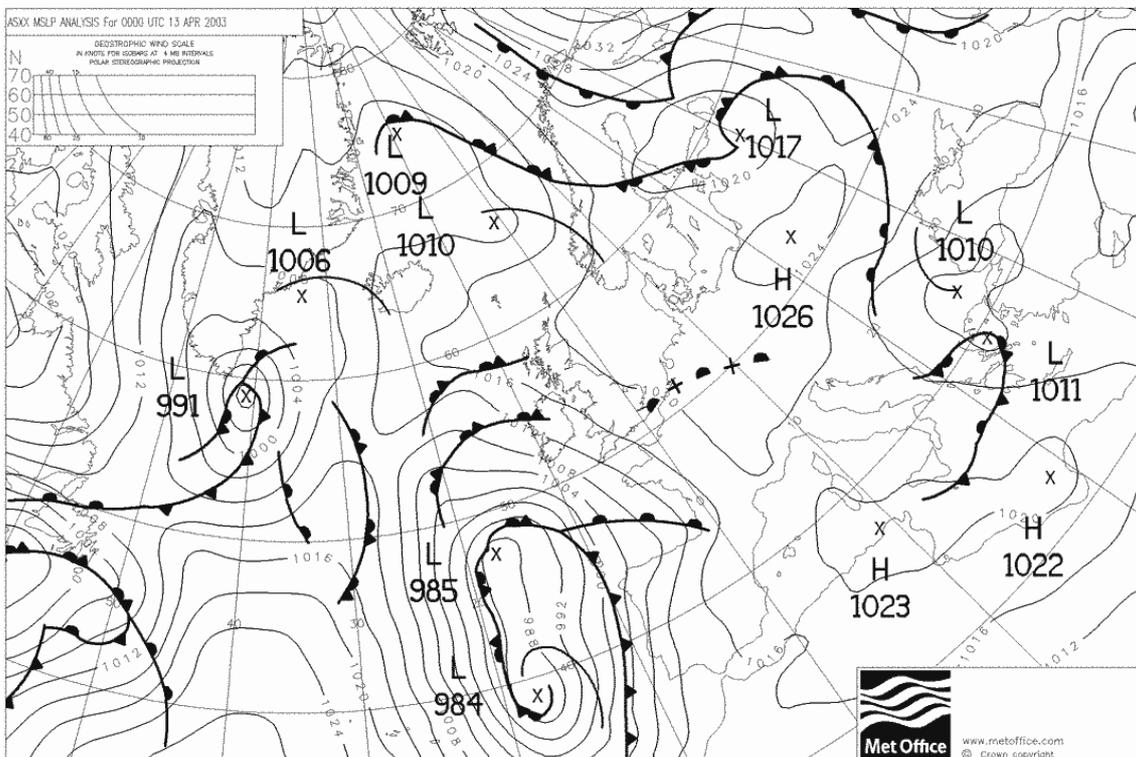


Fig. 2.17. Situación sinóptica del día 13.04.2003. "Híbrido Ciclónico Suroeste" (HCSW)

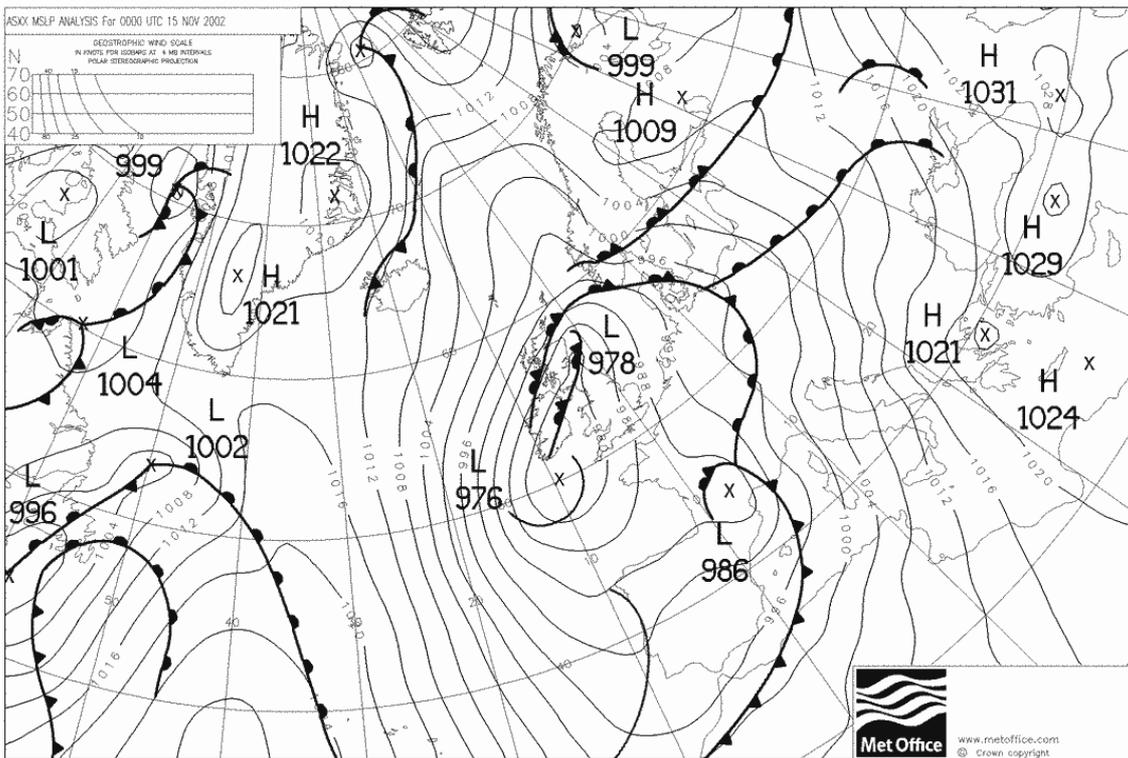


Fig. 2.18. Situación sinóptica del día 15.11.2002. "Híbrido Ciclónico Oeste" (HCW)

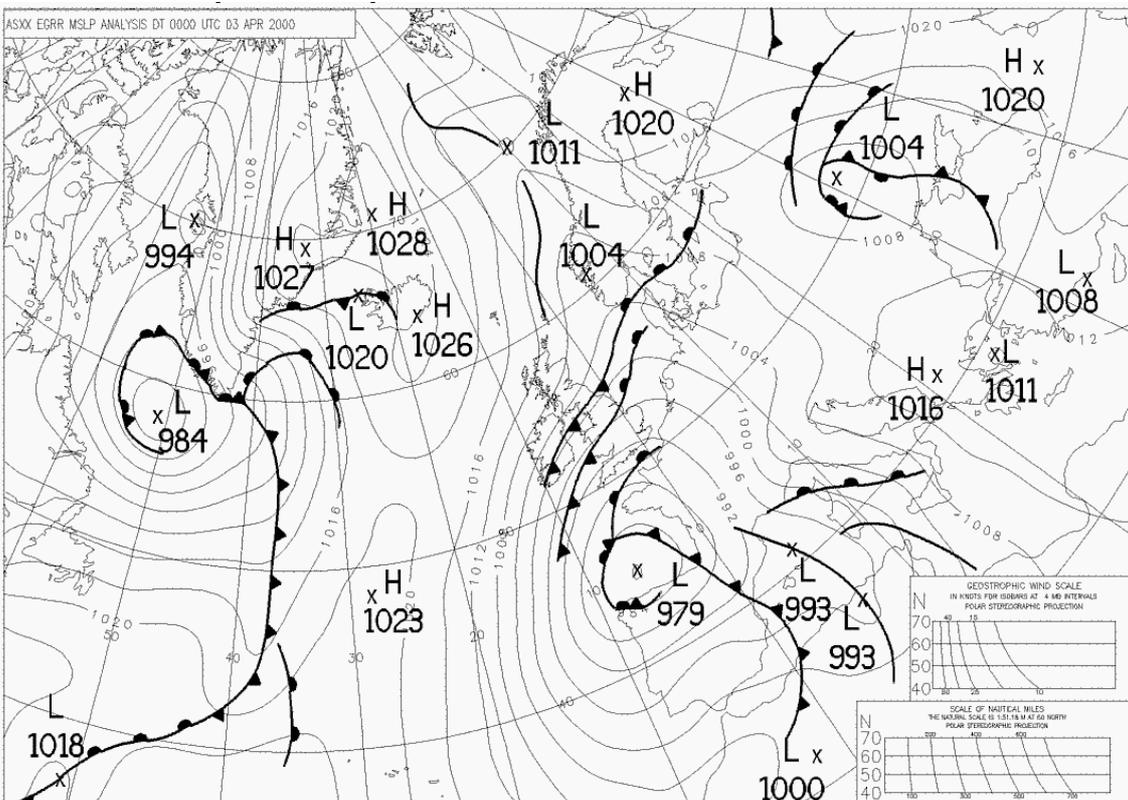


Fig. 2.19. Situación sinóptica del día 03.04.2000. "Híbrido Ciclónico Noroeste" (HCNW)

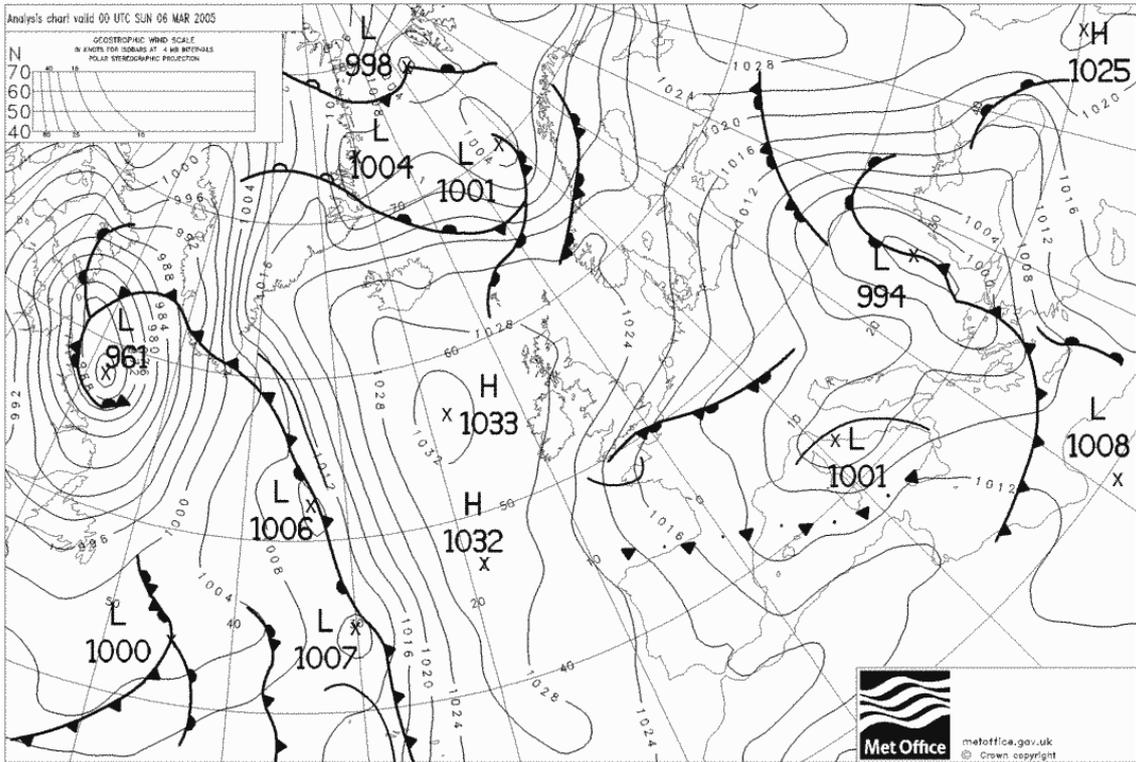


Fig. 2.20. Situación sinóptica del día 06.03.2005. "Híbrido Anticiclónico Norte" (HAN)

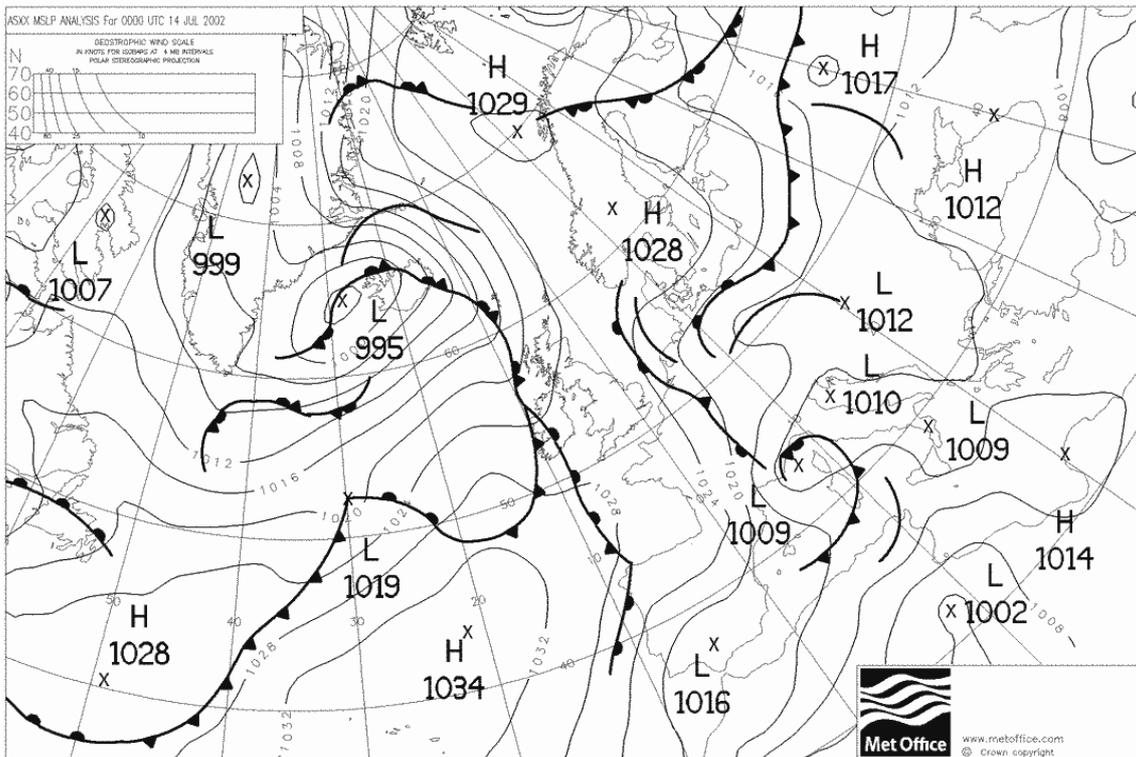


Fig. 2.21. Situación sinóptica del día 14.07.2002. "Híbrido Anticiclónico Nordeste" (HANE)

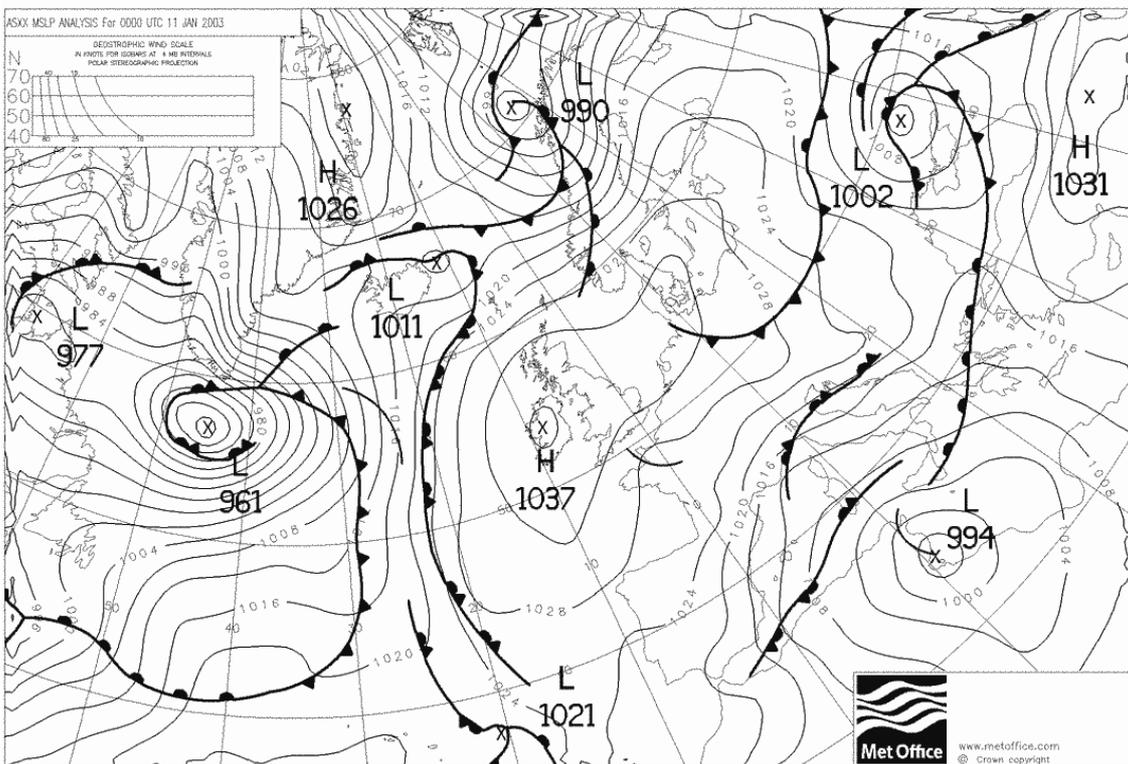


Fig. 2.22. Situación sinóptica del día 11.01.2003. "Híbrido Anticiclónico Este" (HAE)

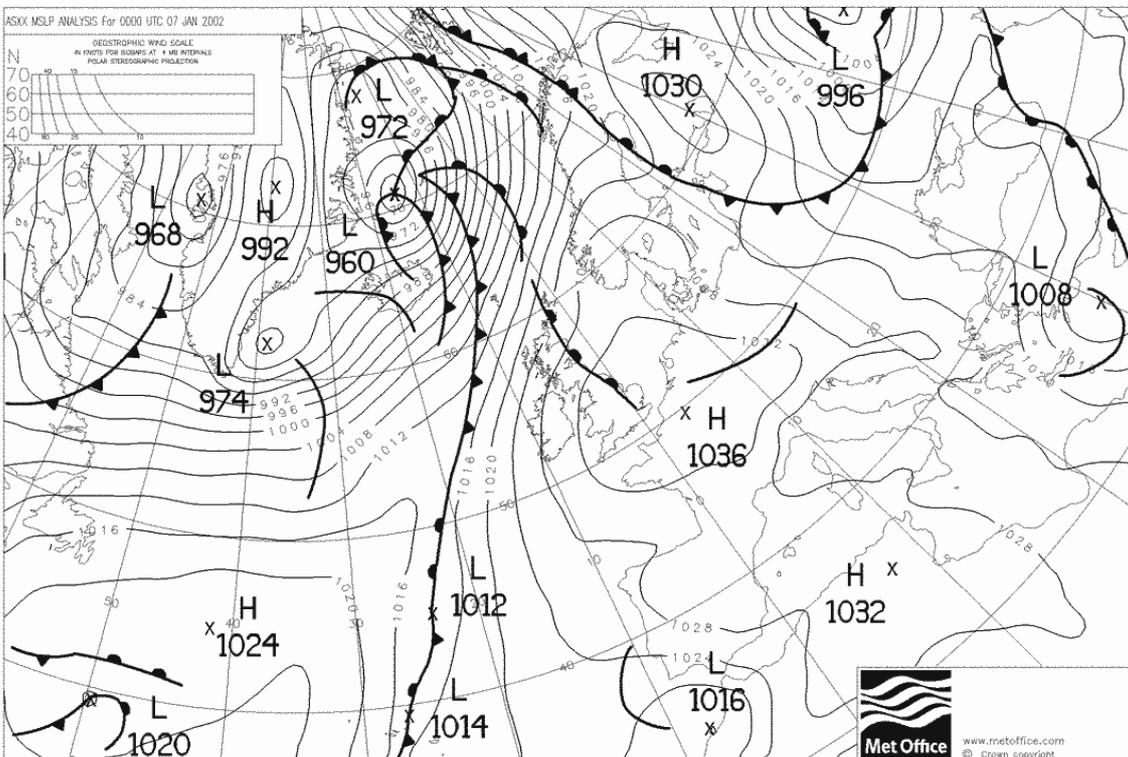


Fig. 2.23. Situación sinóptica del día 07.01.2002. "Híbrido Anticiclónico Sureste" (HASE)

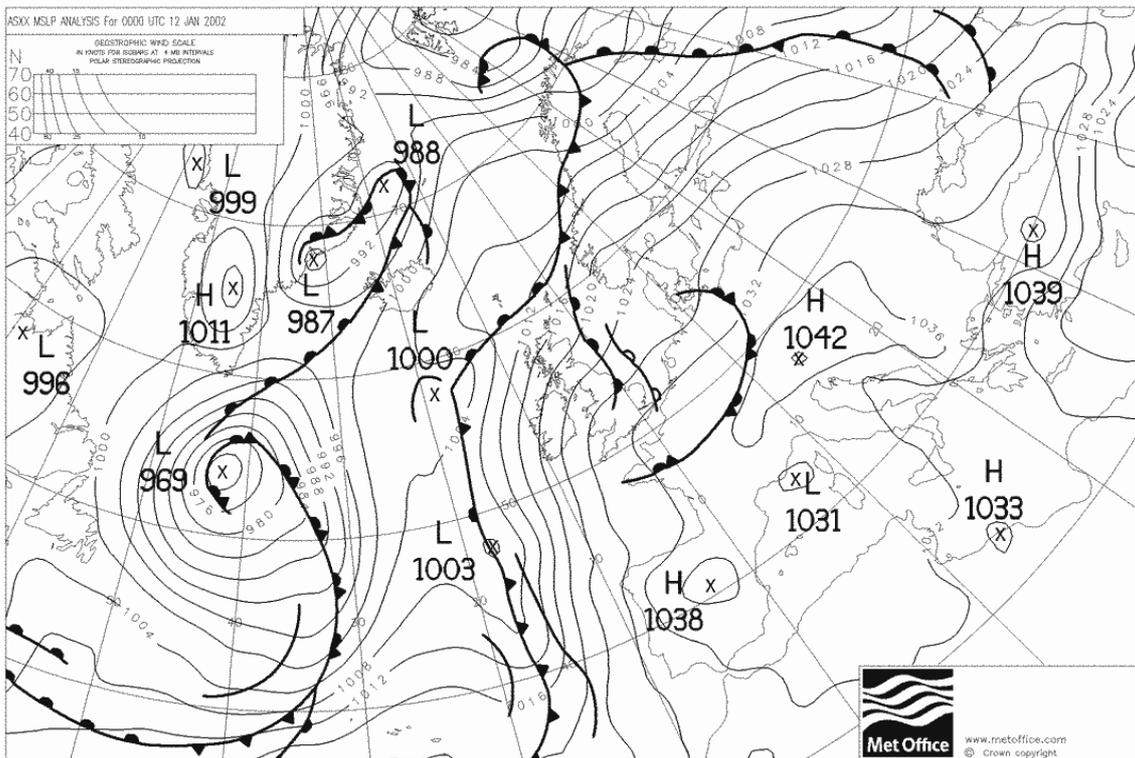


Fig. 2.24. Situación sinóptica del día 12.01.2002. "Híbrido Anticiclónico Sur" (HAS)

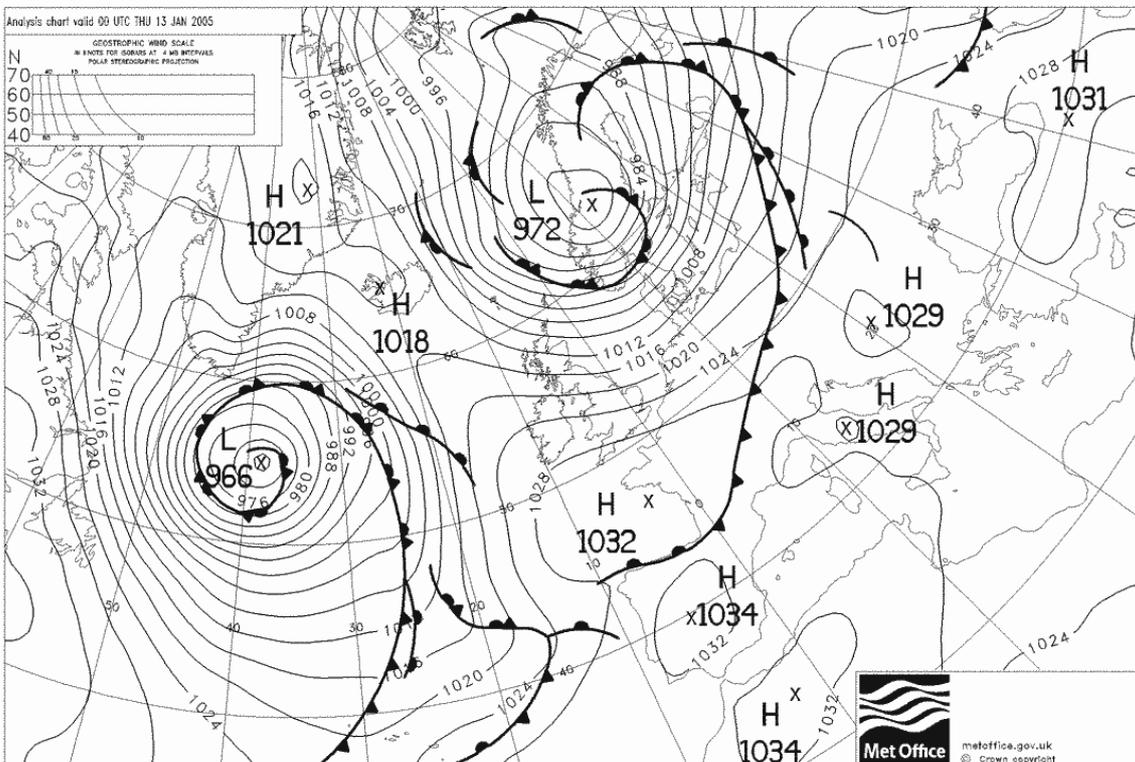


Fig. 2.25. Situación sinóptica del día 13.01.2005. "Híbrido Anticiclónico Suroeste" (HASW)

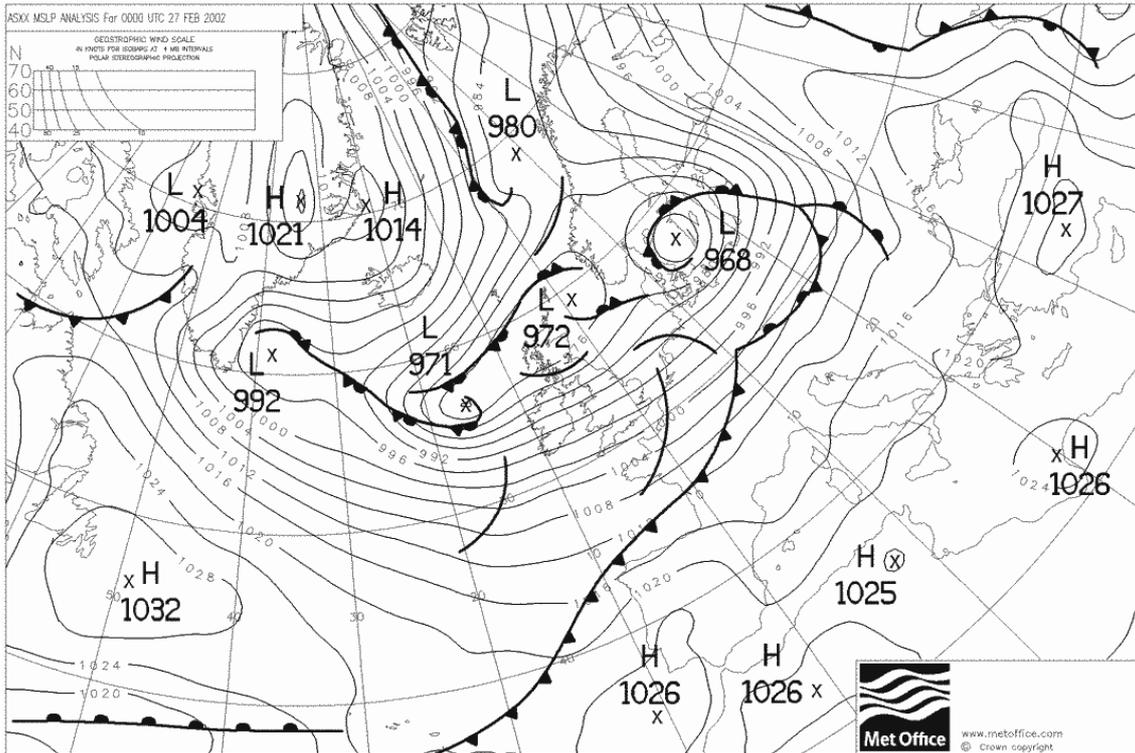


Fig. 2.26. Situación sinóptica del día 27.02.2002. "Híbrido Anticiclónico Oeste" (HAW)

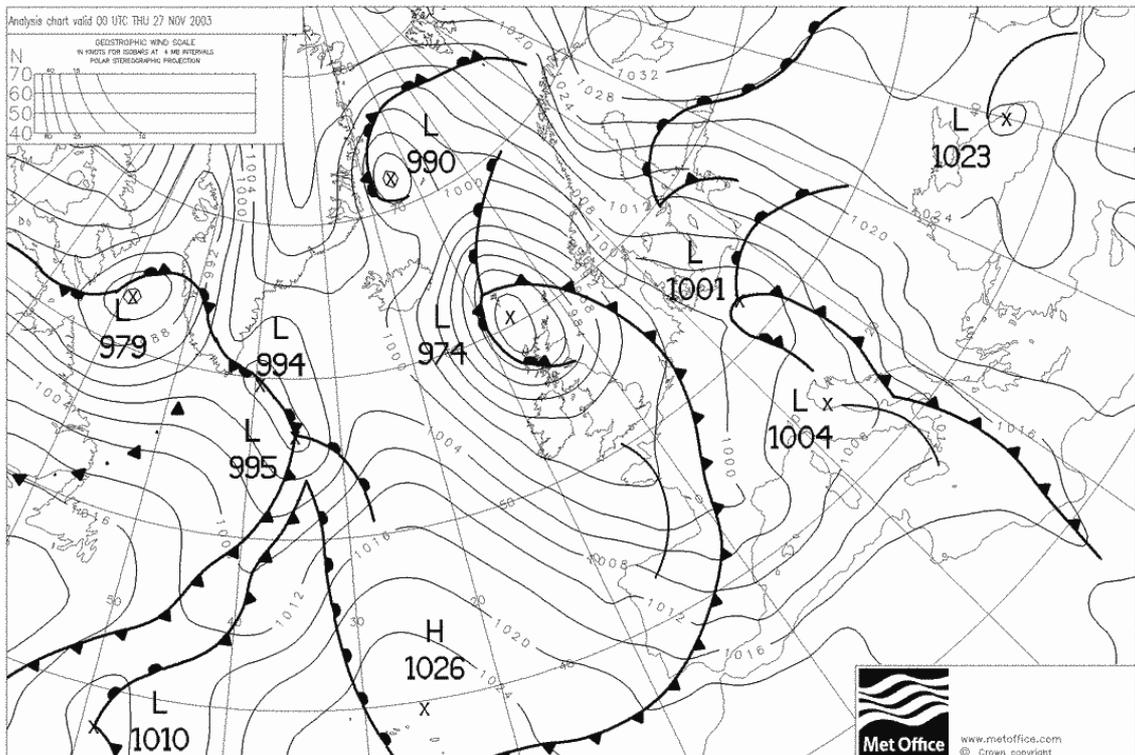


Fig. 2.27. Situación sinóptica del día 27.11.2003. "Híbrido Anticiclónico Noroeste" (HANW)

2.5. BIBLIOGRAFÍA

- Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., Shafir, H., 2004. A new seasons definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean. *International Journal Climatology* **24**, 1013-1021. doi: 10.1002/joc.1037.
- Briffa, K.R., 1995. The simulation of weather types in GCMs: A regional approach to control-run validation. Analysis of Climate Variability. Von Storch H, Navarra A (eds). Springer: Berlin, pp. 122–138.
- Casado, M.J., Pastor, M.A., Doblas-Reyes, M.J., 2009. Euro-Atlantic circulation types and modes of variability in winter. *Theor. Appl. Climatol.* **96**, 17–29. doi: 10.1007/s00704-008-0036-2.
- El Dessouky, T.M., Jenkinson, A.F., 1975. An objective daily catalogue of Surface pressure, flow and vorticity Indices for Egypt and its use in monthly rainfall forecasting. *Synoptic Climatology Branch Memorandum* **46**. Bracknell, Meteorological Office.
- Fraile, R., 1988. *Análisis de las situaciones de tormenta en la provincia de León*. Universidad de León.
- Font, I., 1983. *Climatología de España y Portugal*. INM, Madrid, 296 pp.
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R., Hernández, E., 2005. Extreme summer temperatures in Iberia: Elath impacts and associated synoptic conditions. *Annals of Geophysics* **23**, 239–251.
- Fernández, S. 2010. *Tipos de tiempo y precipitación en León*. Universidad de León.
- González, S., Díaz, J., Pajares, M., Alberdi, J., López, C., Otero, A., 2001. Relationship between atmospheric pressure and mortality in Madrid Autonomous Region: a time series study. *International Journal of Biometeorology* **45**, 34–40.
- Goodes, C.M., Jones, P.D. 2002. Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology* **22(13)**, 1593-1615. doi: 10.1002/joc.810.
- Goodes, C.M., Palutikof, J.P., 1998. Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling. *International Journal of Climatology* **18**, 1051-1083.
- Hess, P., Brezowski, H., 1952. *Katalog der Grosswetterlagen Europas*. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 33. Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany.
- Heyen H., Zorita, E., von Storch, H., 1996. Statistical downscaling of monthly mean North Atlantic air pressure to sea level anomalies in the Baltic Sea. *Tellus* **48**, 312-323.

-
- Jenkinson, A.F., Collison, F.P., 1977. An initial climatology of gales over the North Sea. *Synoptic Climatology Branch Memorandum* **62**. Meteorological Office, Bracknell.
- Jones, P.D., Hulme, M., Briffa, K.R., 1993. A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *International Journal of Climatology* **13**, 655-663.
- Kalkstein, L., 1991. A new approach to evaluate the impact of climate on human mortality. *Environmental Health Perspectives*. **96**, 145–150.
- Kalkstein, L., Greene, J., 1997. An evaluation climate/mortality relationships in large US cities and the possible impacts of a climate change. *Environmental Perspectives* **105**, 84–93.
- Kysely, J., Huth, R., 2006. Changes in atmospheric circulation over Europe detected by objective and subjective methods. *Theoretical and Applied Climatology* **85**, 19-36. doi: 10.1007/s00704-005-0164-x.
- Lamb, H.H., 1950. Types and spells of weather around the year in the British Isles. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **76**, 393–438.
- Lamb, H.H. 1972. British Isles weather types and register of daily sequence of circulation patterns, 1861-1971. Geophysical Memoir 116, HMSO, London, 85 pp.
- Lund, I.A., 1963. Map-pattern classification by statistical methods. *J.Appl. Meteorol.* **2**, 56–65.
- McGregor, G., 2001. The meteorological sensitivity of ischaemic heart disease mortality events in Birmingham, UK. *International Journal of Biometeorology*. **45**, 133–142.
- Overland, J.E., Heister, T.R., 1980. Development of a synoptic climatology for the northeast Gulf of Alaska. *Journal of Applied Meteorology* **19**, 1–14.
- Paegle, J.N., Kierulff, L.P., 1974. Synoptic climatology of 500-mb winter flow types. *Journal of Applied Meteorology* **13**, 205–220.
- Pajares, M., Díaz, J., Montero, J., Alberdi, J., Mirón, I., 1997. Mortalidad diaria en la Comunidad de Madrid durante el periodo 1986-1991 para el grupo de edad de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire. *Revista Española de Salud Pública* **71**, 149–160.
- Spellman, G., 2000. The application of an objective weather-typing system to the Iberian península. *Weather* **55**, 375-385.
- Tomás, C., Pablo, F., Soriano, F.L., 2004. Circulation weather types and cloud-to-ground flash density over Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* **24** (1), 109-123. doi: 10.1002/joc.917.

Trigo, R.M., Da Camara, C.C., 2000. Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *International Journal of Climatolog.* **20**, 1559-1581.

Yarnal, B., 1984. A procedure for the classification of synoptic weather maps from gridded atmospheric pressure Surface data. *Computers and Geosciences* **10**, 397–410.

Zorita E., von Storch H. 1997. A survey of statistical downscaling techniques. GKSS 97/E/20, 42.

www.wetterzentrale.de

Capítulo 3: MORBILIDAD

3.1. INTRODUCCIÓN

Son relativamente escasos los artículos publicados acerca de la morbilidad en relación con variables y contaminantes si se comparan con la abundante producción de trabajos referidos a la mortalidad (Shang et al., 2003). Si bien los estudios sobre mortalidad constituyen un campo de estudio de creciente importancia, sobre todo en ciudades con problemas de contaminación, no lo es menos que la morbilidad ha adquirido relevancia en áreas donde los niveles de contaminación han disminuido, como ya indicaron algunos autores en la pasada década (Pantazopoulou et al., 1995).

A continuación se analizan por separado los principales estudios que para enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio aparecen en la literatura científica.

a) Aparato Circulatorio

Actualmente se da un creciente interés por la relación existente entre las concentraciones de contaminantes en la atmósfera y los datos de morbilidad a corto plazo. Si bien se ha estudiado cómo las tasas altas de contaminantes son en buena parte responsables de aumentos de mortalidad no se puede decir lo mismo en lo que a la morbilidad se refiere.

Algunos estudios han puesto de manifiesto la asociación entre contaminación atmosférica y morbilidad para fallos cardíacos (Morris et al., 1995; Schwartz y Morris, 1995; Prescott et al., 1998; Wong et al., 1999; Linn et al., 2000) Autores como Burnett et al., (1997) y Morris y Naumova (1998) han investigado las relaciones entre los niveles de monóxido de carbono y la morbilidad por enfermedades del sistema Circulatorio. Asimismo Burnett et al., (1999) y Wellenius et al., (2005, 2006) estudiaron la asociación entre las admisiones hospitalarias por patologías del aparato Circulatorio y los niveles de partículas. También se ha investigado sobre la morbilidad por disfunciones cerebrovasculares y su relación con la contaminación atmosférica (Ponka y Virtanen, 1996). Otros como Koken et al., (2003) han abordado las relaciones de temperatura y contaminación atmosférica con las admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares en personas de edad.

Trabajos realizados en esta área de investigación en Europa han sido los de Poloniecki et al., 1997; Wordley et al., 1997; Ballester et al., 2001, y D'Ippoliti et al., 2003. Otros se han realizado en Asia, como el citado más arriba de Wong et al., (1999), así como en Australia (Petroeshevsky et al., 2001). No obstante también aparecen trabajos en la bibliografía en los que se discute si la contaminación tiene efectos cardiovasculares (Mittelman y Verrier, 2003).

Existe un consenso entre los investigadores en que solo las personas con determinados factores de riesgo son susceptibles de elevar los Índices de admisión hospitalarios cuando la contaminación aumenta. Este hecho subraya la importancia de la identificación de los posibles grupos de riesgo para los objetivos de la salud pública.

Los subgrupos más sensibles han sido estudiados recientemente por Wellenius et al. (2005 y 2006), Peel et al. (2007) y Lee et al. (2008). Estos últimos no encontraron mayores modificaciones en las tasas de morbilidad en los casos de hipertensión y diabetes. Concluyeron en que, a pesar de que el incremento en el riesgo es pequeño, se debería tener en cuenta por el elevado número de hospitalizaciones debidas a insuficiencias cardíacas.

En el caso del infarto de miocardio, Morabito et al. (2006) hallaron incrementos significativos en los ingresos hospitalarios en Florencia (Italia) 24 horas después de un día caracterizado por masa de aire continental anticiclónico y seis días después de un día caracterizado por una masa de aire ciclónico.

La morbilidad debida a la angina de pecho y su relación con los contaminantes atmosféricos ha sido estudiada por Hosseinpour et al. (2005), quienes encontraron que las admisiones por dicha causa en Teherán (Irán) tenían una relación significativa con los niveles de CO, no encontrándose asociación con otros contaminantes.

En algunos países de Asia y África tiene especial relevancia el fenómeno de las tormentas de arena o polvo, cuya relación con la morbilidad ha sido mucho menos estudiada que en relación con la mortalidad. Yang C. et al. (2005) encontraron aumentos en las visitas hospitalarias durante estas tormentas en Taipei (Taiwan) por hemorragias cerebrales, pero Chen y Yang (2005) no hallaron aumentos en morbilidad

por enfermedades cardiovasculares. Es frecuente que, debido a la corta duración de las tormentas y las favorables condiciones del tiempo, no todas las tormentas produzcan efectos similares. Así, tormentas de menos de un día, o con lluvias simultáneamente, pueden tener impactos menores.

Se han encontrado correlaciones positivas aunque no significativas entre tormentas de polvo y accidentes cerebrovasculares isquémicos tras tres días de diferencia, debido principalmente a PM10, según Yang C. et al. (2005) en Taipei. Asimismo, en Chipre, se ha observado que aumentan de manera significativa las hospitalizaciones por enfermedades del aparato circulatorio y respiratorio con niveles altos de PM10 y O₃, y especialmente por patologías del aparato circulatorio en los de tormentas de arena (Middleton et al., 2008).

Chan et al. (2008) encontraron que en el periodo 1995-2002 las visitas hospitalarias de emergencia por causas cardiovasculares en Taipei aumentaron significativamente. En esta misma ciudad, otro grupo de investigadores, Chang et al. (2005), encontraron para periodos cálidos, asociaciones positivas significativas entre la morbilidad por causas cardiovasculares y los niveles de PM10, NO₂, CO, y O₃. Para periodos fríos, todos los contaminantes, excepto O₃ y SO₂, se asociaron de manera positiva.

La morbilidad por enfermedades, tanto del aparato Circulatorio como del Respiratorio, y su asociación con contaminantes (NO₂, O₃, SO₂, PM10, PM2,5) ha sido estudiada en ciudades de Canadá por Stieb et al. (2009), quienes encontraron que el CO y el NO₂ mostraban las mayores correlaciones en las patologías cardíacas, mientras que el ozono era más consistente en las respiratorias. Las PM10 y PM2,5 se asociaban más fuertemente con procesos asmáticos en meses templados. Santos et al.

(2008), en un trabajo sobre la morbilidad por arritmia en Sao Paulo, con los mismos contaminantes anteriores, encontraron asociaciones con CO y NO₂.

En el caso de hemorragias intracerebrales se han encontrado correlaciones positivas significativas con niveles de PM10, NO₂, SO₂, CO y O₃ en Taiwan en periodos cálidos (Shang-Shyue et al., 2003).

En cuanto a la asociación de variables atmosféricas con morbilidad, cabe reseñar el trabajo de Dawson et al. (2008), quienes determinaron que, en pacientes escoceses, el incremento de 1°C en la temperatura media en el día anterior, producía incrementos superiores al 2% en la morbilidad por isquemia cardíaca. Hallaron también asociación entre la morbilidad por apoplejías y la disminución de la presión atmosférica en las 48 horas precedentes.

b) Aparato Respiratorio

Las enfermedades respiratorias son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en la mayoría de los países. Por ello se han multiplicado los estudios sobre las relaciones entre este tipo de patologías y los factores y variables determinantes del clima. Así, el aumento del tráfico rodado en zonas urbanas se asocia con contaminantes tales como el CO, el O₃, y los óxidos de nitrógeno, lo que ha contribuido al aumento de las enfermedades crónicas pulmonares, Macfarlane et al. (2000).

También el ozono presenta asociaciones positivas en el trabajo realizado por Gonçalves et al. (2005). Estos autores sugirieron la existencia de relaciones no lineales que varían significativamente de un verano a otro, algo consistente con estudios anteriores (Lin et al., 2003). Sin embargo, la asociación con otras variables atmosféricas como la temperatura y la humedad relativa no resultó ser clara.

La relación entre gases contaminantes y hospitalizaciones por enfermedad obstructiva crónica de pulmón ha sido estudiada en pacientes de Vancouver (Canadá) por Yang Q. et al. (2005). Realizaron un estudio de regresión logarítmica teniendo en cuenta las variaciones estacionales de cada contaminante, entre los que adquirió particular relevancia el dióxido de nitrógeno. Tal trabajo se desarrolló sobre datos del periodo 1994-1998, pero no se encontró asociación significativa entre la morbilidad y el dióxido de azufre; tampoco con el ozono.

Asimismo Wilson et al. (2005) apreciaron que no existía correlación entre SO_2 y O_3 con las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en Maine y Manchester (Inglaterra). Concluyeron que la ausencia estadística de relación no debe considerarse como no relación y, por tanto, que elevadas concentraciones de tales contaminantes podrían tener efectos significativos en la salud pública.

Las causas estacionales de los incrementos de asma se han explicado en términos de variables meteorológicas y de contaminantes. En cuanto a las variables, diversos estudios concluyen que los síntomas pueden tener relación con la temperatura de periodos fríos (Beer et al., 1991; Greenburg et al., 1996; Yuksel et al., 1996), cambios de temperatura (Crighton et al., 2001), humedad relativa y precipitaciones (Celenza et al., 1996), nieblas (Kashiwabara et al., 2002), velocidad del viento (Hashimoto et al., 2004) y cambios en la presión barométrica y tormentas (Sutherland y Hall, 1994; Newson et al., 1997).

Según diversos estudios las hospitalizaciones por asma pueden aumentar en periodos de peor calidad del aire y, en particular, por incrementos en las tasas de ozono. (Tolbert et al., 2000; Gouveia y Fletcher, 2000 a, b; Fusco et al., 2001; Tortolero, 2002; Gonçalves et al.,

2007). Algunos investigadores han estudiado la asociación entre niveles diarios de ozono y síntomas respiratorios (Romieu et al., 1996, Gent et al., 2003, Rabinovitch et al., 2004). Por otro lado Ho et al. (2007) concluyeron que existían relaciones positivas entre episodios de ataque asmático en pacientes adolescentes en Taiwan y contaminantes (O_3 , PM10, NO_x). Esta misma conclusión la obtuvieron Jalaludin et al. (2004) en Australia.

Sin embargo también existen trabajos en los que no se encuentra asociación significativa entre niveles de ozono y morbilidad. (Romieu et al., 1996; Atkinson et al., 1999; Hwang y Chan, 2002; Luginaah et al. 2005; Farhat et al., 2005; Hinwood et al., 2006; Cheng et al., 2009). Probablemente tales diferencias se deban a razones geográficas, aunque también pudieran ser de tipo metodológico.

Las tendencias por ingresos debidos a asma en hospitales de Maryland han sido evaluadas por Kimes et al. (2004), extendiendo el estudio a diferentes razas y grupos de edad. Se encontró que las mismas pautas se repetían por todos los hospitales del estado, por lo que los parámetros estacionales afectaban por igual en todas partes.

Las fuentes geológicas de partículas pueden tener un efecto sobre la morbilidad en jóvenes asmáticos superior al de los particulados atmosféricos. Así lo demostraron Chimonas y Gessner (2007) en un estudio realizado en la población de Alaska. En dicho trabajo se ajustaron modelos de ecuaciones por estación, año, temperatura, velocidad del viento y precipitación.

Se ha investigado en Nueva York por parte de Lin et al. (2008) la posible relación entre la concentración de ozono y las hospitalizaciones de jóvenes por problemas respiratorios en el periodo 1991 a 2001. Los análisis se ajustaron según diversas variables: tamaño de partículas, condiciones

meteorológicas, días de la semana, estacionalidad y características demográficas. Se obtuvieron correlaciones positivas entre el número de admisiones hospitalarias y la concentración de ozono de dos días anteriores a la hospitalización.

En cuanto a la relación entre hospitalizaciones y variables o contaminantes, Magas et al. (2007) concluyen que existía relación significativa entre el número total de hospitalizaciones diarias y el nivel máximo diario de NO₂, la proporción de niños menores de 5 años y la razón temperatura/humedad, para datos de Oklahoma entre 2001 y 2003. Las temperaturas incrementaron también de manera significativa los ingresos hospitalarios en Nueva York durante los veranos del 1991 al 2004 (Lin et al., 2009), tanto por enfermedades del aparato Circulatorio como del Respiratorio. En el caso de patologías respiratorias, confirmaron que los pacientes de edad y los hispanos eran más vulnerables.

El rango diario de temperaturas constituye un parámetro de interés para el estudio de la morbilidad, tanto para enfermedades del aparato Respiratorio como para las del Circulatorio. Así, García-Pina et al. (2008) encontraron que las visitas hospitalarias totales en Murcia durante el periodo 2000-2005 aumentaron un 1,6% los días en que la mínima diaria superaba los 22,4°C, y un 0,21% por cada grado de aumento en la mínima diaria.

La frecuencia de visitas hospitalarias por asmáticos de entre 2 y 15 años de edad fue analizada por Villeneuve et al. (2005), quienes encontraron un incremento en el número de visitas asociado a nieblas y precipitaciones, pero no con variaciones de temperatura o humedad.

Asimismo, se han estudiado las correlaciones de morbilidades con variables y contaminantes, teniendo en cuenta la estacionalidad de los

procesos y según edades (Xirasagar et al., 2006), para el caso de admisiones pediátricas por asma en Taiwan. Para estos autores la estacionalidad y las asociaciones de variables y contaminantes con la morbilidad varían según los diversos grupos de edad.

3.2. MATERIAL Y MÉTODOS

El análisis de las relaciones entre variables atmosféricas y morbilidad se va a centrar en los casos de las enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio, que se estudian con los datos procedentes de los hospitales citados en el apartado 1.4.2. Tales datos, procedentes de la Consejería de Salud y Bienestar Social de la Junta de Castilla-La Mancha, abarcan el periodo que va desde el 1 de enero de 2000 hasta el 31 de diciembre de 2006, en total 2555 días. Las variables atmosféricas son la temperatura media, T ($^{\circ}\text{C}$), la presión, P (hPa), la humedad relativa, HR (%) y la radiación, Rad (W/m^2). Los datos, cedidos por el INE y la Agencia Estatal de Meteorología, tienen como intervalo, del 1 de enero del 2000 hasta el 31 de diciembre del 2005; en total, 2190 días. Se ha partido de una matriz inicial de trabajo para las patologías de cada aparato, en la que se incluían en filas los días, y en columnas, los datos de morbilidad y variables de cada una de las provincias de Castilla-La Mancha, y a partir de tales datos se obtiene la morbilidad total de la región. También se han empleado valores de morbilidad según dos estratos de edad: menores de 65 años y mayores de 65 años.

Se ha realizado en primer lugar un análisis estadístico, con la finalidad de obtener las series de datos más adecuadas para el trabajo posterior. El CAI (Índices de Admisiones por enfermedades del aparato Circulatorio) y el RAI (Índice de Admisiones por enfermedades del aparato Respiratorio) son los instrumentos aplicados para el estudio de los distintos periodos.

La investigación se concreta a continuación en la morbilidad según el tipo de tiempo, con la clasificación diaria por tipos de tiempo y las características meteorológicas de las situaciones dominantes. En este último apartado se ha realizado un Análisis de Componentes Principales (ACP) a las variables atmosféricas para reducir los datos de todas las provincias en una única serie. Asimismo, se ha aplicado un análisis Chi-cuadrado y otro de probabilidad condicional para estudiar las diferencias de la morbilidad según los tipos de tiempo en los diferentes periodos.

Tales técnicas son ampliamente utilizadas en estudios estadísticos similares. El Análisis de Componentes Principales persigue obtener grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto de variables más numeroso. Los grupos obtenidos se forman con variables que correlacionan mucho entre sí, procurando, además, que tales grupos sean independientes entre sí. Con ello se explica la mayor parte de la varianza total (Comrey, 1985).

En lo que respecta a la bondad del análisis realizado, se calculan los determinantes de las matrices de correlaciones entre variables. Los determinantes próximos a cero indican que la técnica utilizada es pertinente.

Asimismo, otro estadístico descriptivo del análisis es la medida de la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Este índice compara la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial. Si el valor del KMO es reducido (los valores inferiores a 0,6 se consideran mediocres) puede que no sea acertado utilizar dicho método de análisis factorial. Por el contrario, valores del KMO próximos a 1,000 indican que el modelo factorial es adecuado. (Salvador y Gargallo, 2006).

Además, en la prueba de esfericidad de Bartlett se contrasta la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones observada es la matriz identidad. Si el nivel crítico es mayor que 0,05 no se puede rechazar la hipótesis nula, y por tanto, no se puede asegurar que el modelo factorial sea adecuado. (Salvador y Gargallo, 2006).

El análisis Chi-cuadrado se emplea para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en Tablas de contingencia (Fleiss, 2003).

La probabilidad condicional se interpreta como la probabilidad de que las admisiones excedan un cierto nivel de ocurrencia de los Índices de Admisión (CAI o RAI) según el tipo de tiempo.

La importancia del desfase temporal en la morbilidad se estudia con los valores medios de los Índices CAI y RAI altos, en el mismo día y en los tres siguientes, según los tipos de tiempo dominantes.

Los Índices de Admisiones se usan después para valorar la importancia de las secuencias de tipos de tiempo en dos días consecutivos en la morbilidad según los diferentes periodos. Para ello, se comparan las frecuencias relativas de aparición de las distintas secuencias de tipos de tiempo dominantes para valores de CAI y RAI superiores al valor medio del periodo.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Enfermedades del aparato Circulatorio

3.3.1.1. Análisis estadístico

A partir de los valores diarios de morbilidad por enfermedades del aparato Circulatorio se analizan primeramente los valores totales, después

los estacionales y, por último, los mensuales, para obtener el tipo de serie que pueda ser más conveniente para el desarrollo posterior de la investigación.

a) Valores totales

En la Fig. 3.1 se aprecia la morbilidad total para cada una de las provincias, y por estratos de edad, durante el periodo de estudio.

La incidencia resulta ser muy superior en términos totales para los pacientes mayores de 65 años que para los menores de esa edad, por la mayor propensión de aquellos a fallos de tipo circulatorio.

A pesar de que, durante los años del estudio, la población de Toledo fue superior a la de Ciudad Real, sin embargo la morbilidad fue mayor en esta última provincia. Albacete, Cuenca y Guadalajara tienen morbilidades totales en concordancia con sus poblaciones durante esos años.

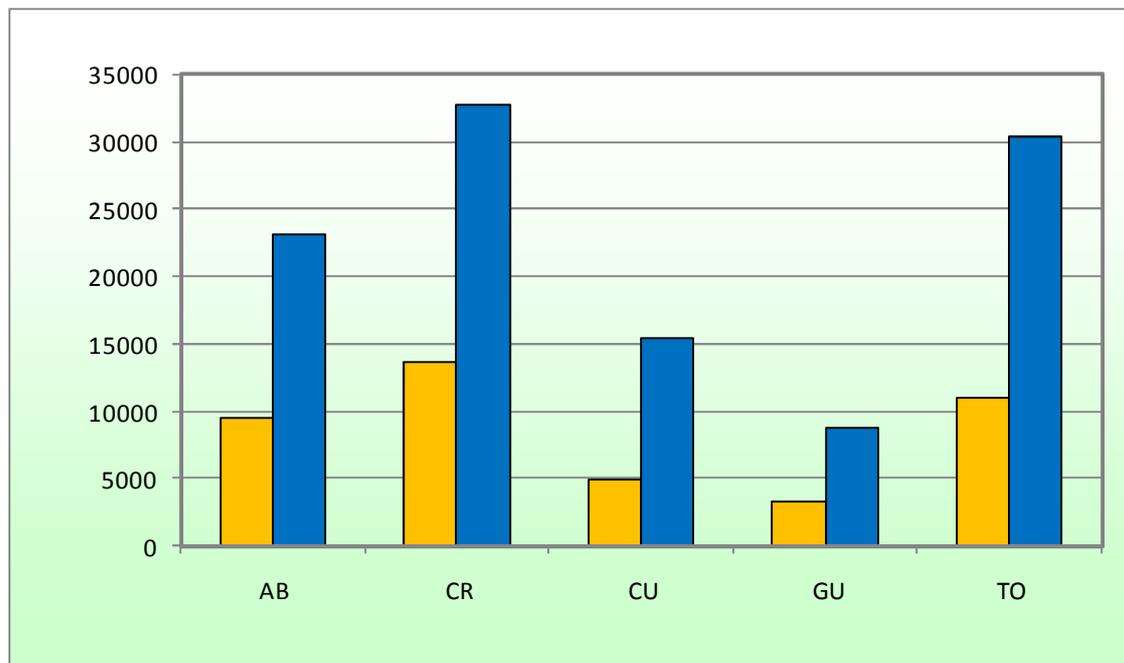


Fig. 3.1. Morbilidad por enfermedades del aparato Circulatorio, según provincia y edad, periodo enero 2000 - diciembre 2006; oro: <65 años; azul: >65 años.

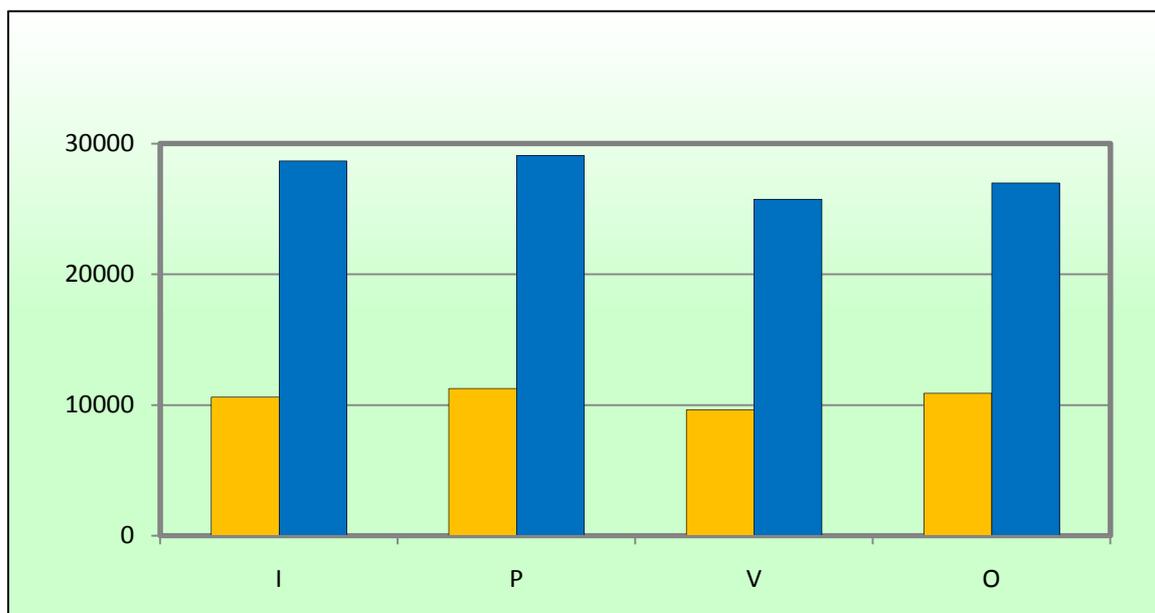


Fig. 3.2. Morbilidad estacional por enfermedades del aparato Circulatorio según edad, periodo enero 2000 - diciembre 2006; oro:<65 años; azul:>65 años.

La media diaria de admisiones para toda la Comunidad Autónoma durante el periodo investigado fue de 59,8 casos por día.

b) Valores estacionales

Se considera la división estacional siguiente, en meses, a los efectos del estudio estadístico:

Invierno (I): diciembre (año anterior), enero, febrero

Primavera (P): marzo, abril, mayo

Verano (V): junio, julio, agosto

Otoño (O): septiembre, octubre, noviembre

En la Fig. 3.2 se observan los valores obtenidos. No se aprecian diferencias estacionales grandes, si bien se dan mayores valores en invierno y primavera que en verano y otoño, en el grupo de los mayores de 65 años. En el grupo de los menores de 65 años, las diferencias son incluso menores.

La aplicación de ANOVA no muestra resultados significativos para un nivel de significación del 5%.

En la Tabla 3.1 se dan los valores numéricos por provincias correspondientes a la Fig. 3.2.

c) Valores mensuales

Se muestran en la Tabla 3.2 los valores mensuales de morbilidad durante todo el periodo de años estudiado, por provincia y según los estratos de edad considerados anteriormente. Para mayores de 65 años se alcanzan máximos en enero (Albacete, Cuenca y Toledo), marzo (Ciudad Real) y mayo (Guadalajara). Para menores de 65 años los máximos se sitúan en mayo (Albacete), noviembre (Ciudad Real), marzo (Cuenca), octubre (Guadalajara) y noviembre (Toledo). Aun a pesar de la mayor dispersión en el grupo de menores de 65 años, los valores máximos totales para la región siguen una tendencia marcada al alza en meses fríos, como son enero para mayores de 65 años y noviembre para menores de 65 años.

Tabla 3.1: Totales estacionales de morbilidad (enfermedades del aparato Circulatorio), por provincia y región. En **negrita** los valores máximos. En *cursiva* los valores mínimos.

	AB		CR		CU		GU		TO		REGIÓN	
	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65
I	2448	5939	3287	8497	1219	3823	863	2187	2800	8226	10617	28672
P	2611	6145	3632	8598	1266	4102	853	2343	2895	7897	11257	29085
V	<i>2153</i>	<i>5349</i>	<i>3182</i>	<i>7610</i>	<i>1154</i>	<i>3756</i>	<i>641</i>	<i>2073</i>	<i>2485</i>	<i>6969</i>	<i>9615</i>	<i>25757</i>
O	2323	5649	3607	8087	1211	3764	912	2185	2829	7300	10882	26985

En cuanto a los mínimos, estos se alcanzan, en el caso de los mayores de 65 años, durante los meses de septiembre (Albacete, Guadalajara, Toledo), agosto (Ciudad Real), y diciembre (Cuenca). Para los menores de 65 años los mínimos se sitúan en agosto (Albacete, Ciudad Real, Cuenca, Toledo y Guadalajara). En el cómputo regional, los menores valores de morbilidad son los de agosto, para menores de 65 años, y septiembre, para mayores de 65 años, lo que sitúa los mínimos en meses de carácter cálido.

Tabla 3.2: Morbilidad total mensual por provincia y región, por enfermedades del aparato Circulatorio. Para cada columna: en **negrita** los valores máximos y en *cursiva* los valores mínimos.

	AB		CR		CU		GU		TO		REGIÓN	
	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65
Ene	855	2182	1117	2982	426	1448	307	734	947	2951	3652	10297
Feb	861	1921	1142	2781	390	1237	286	729	915	2649	3594	9317
Mar	857	2097	1286	3051	445	1360	275	784	973	2789	3836	10081
Abr	851	2060	1151	2810	391	1441	262	753	941	2551	3596	9615
May	903	1988	1195	2737	430	1301	316	806	981	2557	3825	9389
Jun	850	1834	1187	2674	416	1261	278	720	905	2393	3636	8882
Jul	690	1753	1095	2515	399	1285	207	689	832	2283	3223	8525
Ago	<i>613</i>	1762	<i>900</i>	<i>2421</i>	339	1210	<i>156</i>	664	<i>748</i>	2293	<i>2756</i>	8350
Sep	649	<i>1727</i>	1066	2424	401	1198	224	<i>631</i>	809	<i>2246</i>	3149	8226
Oct	840	2002	1222	2793	404	1295	357	792	1001	2514	3824	9396
Nov	834	1920	1319	2870	406	1271	331	762	1019	2540	3909	9363
Dic	732	1836	1028	2734	403	<i>1138</i>	270	724	938	2626	3371	9058

En consecuencia con todo lo anterior, y como no aparecen diferencias estacionales significativas, el estudio se va a centrar en dos periodos:

a) Cálido: 1 abril-30 de septiembre

b) Frío: 1 octubre- 31 de marzo.

La serie estudiada es la de los valores totales diarios para toda la región (suma de la morbilidad diaria en las 5 provincias).

d) Índices de Admisión

Para facilitar las comparaciones entre las admisiones hospitalarias de distintos años McGregor et al. (1999) emplearon los Índices de Admisión, que son aplicables tanto a las enfermedades del aparato Circulatorio (CAI) como a las del Respiratorio (RAI).

Se aplica la siguiente fórmula, para el caso del CAI:

$$\text{CAI} = \frac{\text{Admisiones hospitalarias diarias Circulatorio}}{\text{Promedio de admisiones anual}} \times 100$$

Se trata del cociente entre los ingresos diarios por enfermedades del aparato Circulatorio y el promedio de admisiones anual, expresado el resultado en porcentaje. Este Índice normaliza los ingresos con respecto a una media anual.

Se ha calculado el CAI para ambos periodos sobre el valor total de la morbilidad en la región. El análisis exploratorio en el período cálido, muestra altos valores del CAI de lunes a jueves, y bajos el fin de semana (Fig. 3.3). El test U de Mann-Whitney (Mann y Whitney, 1947) muestra diferencias significativas ($p < 0,001$) entre los valores del CAI en domingo (menores valores del CAI) y los observados de lunes a viernes, cuando suceden los mayores valores del CAI. Por otra parte, en el período frío sólo

existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores del CAI del jueves y viernes (más altos) y los del martes (más bajos).

3.3.1.2. Morbilidad del aparato Circulatorio según tipos de tiempo

a) Clasificación diaria de los tipos de tiempo

En el presente estudio, se han considerado situaciones dominantes aquellas cuya frecuencia sobrepasa el valor medio correspondiente al período 2000-2006, y se pueden obtener a partir de la Tabla 3.3. Para el periodo cálido dicho valor es 1281 días / 26 tipos de tiempo ≈ 49 días. Para el periodo frío dicho valor es 1274 días / 26 tipos de tiempo ≈ 49 días. Según este criterio, las situaciones dominantes finalmente seleccionadas en el período cálido han sido NE, E, W, NW, N, C, A, así como algunas situaciones anticiclónicas híbridas de transición (HANE, HANW y HAN), que representan los días que no podían ser asignados sin lugar a dudas a un tipo puro de situación. Para el periodo frío han sido: NE, E, SW, W, C, A, HASW y HAW. Los datos se muestran en la Tabla 3.3.

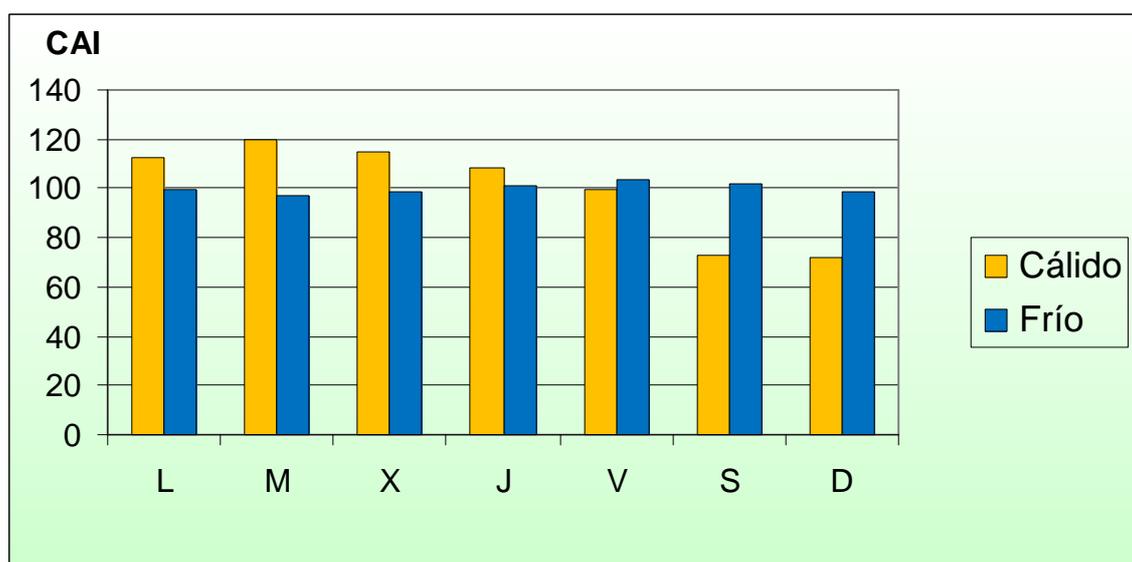


Fig. 3.3. Valores medios del CAI según día de la semana.

Tabla 3.3. Número de días de cada tipo de tiempo en cada periodo. En **negrita**: número de días de las situaciones dominantes (aquellas que superan los 49 días).

TIPO DE TIEMPO	CÁLIDO	FRÍO
NE	232	65
E	62	76
SE	10	46
S	7	42
SW	34	97
W	64	98
NW	63	36
N	168	26
C	92	68
A	217	372
HCNE	19	11
HCE	8	7
HCSE	5	15
HCS	3	13
HCSW	8	11
HCW	6	9
HCNW	9	6
HCN	15	10
HANE	71	30
HAE	16	29
HASE	2	26
HAS	4	17
HASW	9	58
HAW	26	50
HANW	53	36
HAN	78	20
Total	1281	1274

En resumen, con la reducción de las 26 situaciones iniciales a las situaciones dominantes en cada periodo, se obtienen:

Cálido: NE/E/W/NW/N/C/A/HANE/HANW/HAN, 1100 casos, es decir, un 85,9% del total, con las 10 situaciones.

Frío: NE/E/SW/W/C/A/HASW/HAW, 884 casos, es decir un 69,4% del total, con las 8 situaciones.

La frecuencia relativa de una situación se define como el número de casos de dicha situación dividida por el número total de casos, expresándose el resultado en porcentaje. Así, para el tipo de tiempo N durante el periodo cálido se tiene: 168 (Tabla 3.3) / 1281 = 13,1 %. Tales frecuencias relativas de las situaciones dominantes, por años en cada periodo, se pueden apreciar en las Tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4. Frecuencia relativa de las situaciones dominantes, por años, para el periodo cálido.

Cálido	NE	E	W	NW	N	C	A	HANE	HANW	HAN
2000	16,4	3,3	8,2	6,0	10,4	9,8	16,4	6,6	3,3	2,7
2001	23,5	2,2	3,3	3,8	14,2	4,9	19,1	4,4	4,9	8,2
2002	16,4	1,6	2,7	6,0	15,3	8,7	15,3	4,4	3,8	8,2
2003	15,8	6,6	7,1	4,9	12,6	3,3	14,2	5,5	4,9	7,1
2004	23,5	8,2	6,0	3,8	14,2	4,4	17,5	4,4	4,9	2,2
2005	18,0	4,9	2,7	6,0	12,0	9,3	17,5	8,7	3,8	6,6
2006	13,1	7,1	4,9	3,8	13,1	9,8	18,6	4,9	3,3	7,7
Total	18,1	4,8	5,0	4,9	13,1	7,2	16,9	5,5	4,1	6,1

Tabla 3.5. Frecuencia relativa de las situaciones dominantes, por años, para el periodo frío.

Frío	NE	E	SW	W	C	A	HASW	HAW
2000	6,6	6,0	6,0	4,4	4,9	31,9	5,5	5,5
2001	6,0	8,8	12,1	12,6	2,2	17,6	4,9	3,8
2002	2,7	4,9	10,4	9,3	4,9	31,9	6,0	4,9
2003	6,6	2,7	6,0	7,7	12,1	27,5	3,3	3,3
2004	6,0	6,6	3,3	6,0	5,5	40,7	3,8	2,2
2005	6,0	11,0	8,2	5,5	1,6	26,4	3,3	2,7
2006	1,6	1,6	7,1	8,2	6,0	28,6	4,9	4,9
Total	5,1	6,0	7,6	7,7	5,3	29,2	4,6	3,9

En el periodo cálido dominan las situaciones NE y A, como se puede apreciar por los valores totales. Además existe una notable variación anual en las situaciones NE entre el 13,1 y el 23,5 %. La baja incidencia en el año 2006 de las situaciones NE puede ser debida a la alta de las E, C y A.

En el periodo frío dominan las situaciones A. Se registra una baja frecuencia relativa anual de las situaciones NE en 2002 y 2006, E en 2003 y 2006, C en 2001 y 2005, y A en 2001.

b) Características meteorológicas de las situaciones dominantes y probabilidades condicionales

Se ha realizado un ACP a cada una de las variables locales de T, HR, P, Rad para el periodo enero 2000-diciembre 2005 con el fin de reducir los datos de los 5 observatorios a series únicas que representen variables

regionales, y de esta forma caracterizar meteorológicamente a los diferentes tipos de situaciones dominantes en cada periodo.

Para cada una de las variables se aplica dicho análisis a la matriz formada por los datos diarios en el periodo de estudio y los datos de los cinco observatorios provinciales. Respecto a la bondad del análisis hay que reseñar que los valores de los elementos de la matriz de correlaciones entre las distintas provincias son elevados (humedad relativa: superiores a 0,80; presión: superiores a 0,95; radiación: superiores a 0,90; temperatura: superiores a 0,97). En todos los casos el determinante de la matriz de correlaciones es prácticamente cero. La prueba de Kaiser-Meyer-Olkin da resultados positivos (humedad relativa: 0,88; presión: 0,80; radiación: 0,70; temperatura: 0,89) así como la significación de esfericidad de Bartlett, que da un resultado nulo en todos los casos.

Se obtiene para cada variable una sola componente de valor propio mayor que 1, expresándose en la Tabla 3.6 el porcentaje de la varianza total que explica.

Se calculan seguidamente los valores medios de los scores (valores normalizados) de las 4 variables según el tipo de situación dominante, para caracterizar las situaciones que se han seleccionado como dominantes.

Los resultados para el periodo cálido se aprecian en la Tabla 3.7.

Destacan los valores máximos de la temperatura y presión en los tipos de tiempo híbridos anticiclónicos HAN y HANE respectivamente, en tanto que para la humedad relativa se observa un valor máximo para el W, y en la radiación se da un valor máximo para el tipo A. Para el W, en cambio, se registra valor mínimo de la temperatura, y para el C tiene lugar el valor

mínimo de la radiación. La humedad relativa presenta valor mínimo para el tipo anticiclónico HAN, y la presión para el NW.

Se puede considerar que tales resultados son consecuentes con las características de las situaciones sinópticas en las que se han registrado. Así, la elevada humedad relativa del W puede deducirse por las corrientes de aire húmedo procedentes del Atlántico. Los altos valores de temperatura y presión registrados en HAN y HANE respectivamente son explicables a partir de las situaciones anticiclónicas en periodos cálidos, con estabilidad de las masas de aire. Es razonable pensar que, en los días caracterizados por el tipo de tiempo A, la radiación solar encontrará menos formaciones nubosas, lo que ocasionaría el alto valor de dicho parámetro.

Asimismo, los bajos valores encontrados para la temperatura y radiación en el tipo de tiempo W podrían deberse a que el aire húmedo procedente del oeste favorece la formación de nubes, con la consiguiente disminución de los valores de temperatura y radiación.

Tabla 3.6. Varianza explicada para cada variable por la componente obtenida. Por tanto, con una sola componente para las 4 variables se explica entre el 88% y 99% de la varianza de las diferentes variables.

VARIABLE	% VARIANZA
Temperatura	98,6
Presión	98,0
Humedad	88,1
Radiación	95,9

Tabla 3.7. Características meteorológicas de las situaciones dominantes en el periodo cálido (valores medios de los scores). En **negrita**: valores máximos. En *cursiva*: valores mínimos.

Cálido	T	P	HR	Rad
NE	0,242	0,082	-0,068	0,013
E	0,130	0,775	-0,458	0,336
W	<i>-0,587</i>	-0,434	0,482	-0,331
NW	-0,216	<i>-0,823</i>	0,311	-0,310
N	0,145	-0,497	0,002	-0,035
C	0,107	-0,601	0,432	<i>-0,936</i>
A	-0,133	0,681	-0,228	0,472
HANE	0,182	0,783	-0,343	0,302
HANW	-0,087	-0,253	0,113	0,160
HAN	0,407	0,062	<i>-0,612</i>	0,426

Los resultados para el periodo frío se muestran en la Tabla 3.8.

Respecto al periodo frío, los valores máximos se registran para distintos tipos de tiempo en cada variable. Así, el SW para la temperatura, el HASW para la presión, el C para la humedad relativa, y el E para la radiación. Hay coincidencia de tipo de tiempo, el E, en los valores mínimos entre temperatura y humedad relativa. La presión y la radiación registran valores mínimos en C.

Al igual que en el periodo cálido, los resultados obtenidos en el periodo frío son consecuentes con las características de los tipos de tiempo en los que se han registrado. Así, el elevado valor de la temperatura para el SW podría explicarse por la componente sur del flujo en dicha situación

sinóptica. El valor alto de la presión en el HASW es consecuente con la componente anticiclónica de dicho tipo de tiempo. La situación sinóptica C, ciclónica, propicia la inestabilidad, con formación de nubes y humedad, lo que puede dar razón del elevado valor obtenido para el parámetro de la humedad relativa.

Estos mismos razonamientos serían aplicables a los valores mínimos. Así, es razonable que se hayan obtenido valores mínimos, tanto de la presión como de la radiación, para el tipo C.

Con objeto de establecer la diferencia entre el número de admisiones según los tipos de tiempo, los 1281 días del periodo cálido y los 1274 del periodo frío se han dividido en cuatro clases según los valores del CAI, y se les ha aplicado un análisis Chi-cuadrado, y otro de probabilidad condicional. El análisis Chi-cuadrado revela una dependencia significativa al nivel de 0,001 de los niveles del CAI en ambos periodos según el tipo de tiempo. Los resultados del análisis de probabilidad condicional se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.8. Características meteorológicas de las situaciones dominantes en el periodo frío (valores medios de los scores). En **negrita**: valores máximos. En *cursiva*: valores mínimos.

Frío	T	P	HR	Rad
NE	-0,122	-0,212	-0,624	0,280
E	-0,278	0,003	-0,740	0,496
SW	0,639	-0,257	0,307	-0,331
W	0,259	-0,740	0,597	-0,427
C	0,124	-1,201	0,618	-0,450
A	-0,075	0,660	-0,134	0,208
HASW	0,008	0,668	0,430	-0,246
HAW	0,339	0,078	0,427	0,339

Tabla 3.9. Probabilidades condicionales de admisiones, según clases de CAI, para las situaciones meteorológicas dominantes por enfermedades del aparato Circulatorio.

Cálido CAI	NE	E	W	NW	N	C	A	HANE	HANW	HAN
0-99	55	62	47	58	54	57	51	47	56	53
100-124	27	21	27	32	24	22	26	31	23	31
125-149	14	11	23	5	18	17	18	18	19	15
>150	4	6	3	5	4	4	5	4	2	1

Frío CAI	NE	E	SW	W	C	A	HASW	HAW
0-99	50	49	48	44	48	51	62	56
100-124	31	22	39	35	46	31	26	30
125-149	17	25	13	28	6	16	12	12
>150	2	4	0	3	0	2	0	2

La probabilidad condicional revela la naturaleza de la dependencia entre los niveles de ocurrencia del CAI y los tipos de tiempo. La información de la Tabla 3.9 otorga en el periodo cálido importancia relativa de los tipos E, NW y A en el caso de sucesos extremos (CAI > 150), mientras que en el periodo frío lo es el tipo E. También es especialmente notable, en el período cálido, el tipo W, por su alta probabilidad condicional de 26 % para un CAI de 125 o más, mientras que los tipos E (29%) y W (31%) lo son para el periodo frío.

La importancia relativa en el periodo cálido de las situaciones E para los casos de elevado número de admisiones (CAI > 150) coincide con lo estudiado en otras zonas de la península Ibérica (De Pablo et al., 2008).

c) Días de CAI altos: estudio de desfases y de secuencias de tipos de tiempo

El estudio de las admisiones hospitalarias, no solo en el mismo día de una determinada incidencia meteorológica, sino con desfases de uno o más días, puede aportar información de interés en los estudios de Biometeorología, como en el citado artículo de Morabito et al., (2006). Se muestran en la Tabla 3.10 los valores medios de CAI para las situaciones meteorológicas dominantes con desfases de 1, 2, y 3 días.

Si se observan las relaciones entre el riesgo de una admisión hospitalaria por enfermedad cardiovascular y las condiciones diarias del tiempo, se comprueba que los valores medios del CAI de la Tabla 3.10. muestran que, en el periodo cálido, cuando ocurren las situaciones NE, N y HAN, los valores medios del CAI en el mismo día ($\text{lag} = 0$) y en los siguientes ($\text{lag} = 1, 2$ y 3) son siempre inferiores a 100, lo que indica que la media de las admisiones está siempre por debajo del valor medio del periodo cálido. Cuando ocurre la situación NW, el valor medio del CAI es siempre inferior a 100, con la excepción de las admisiones registradas dos días más tarde ($\text{lag} = 2$). Por el contrario, cuando ocurren las situaciones W, A y HAW, los valores del CAI son siempre iguales o superiores al valor medio del periodo cálido, y cuando aparecen situaciones C también lo son, excepto en el mismo día ($\text{lag} = 0$).

En el período frío, con situación A los valores del CAI son siempre iguales o superiores al valor medio (100), y con situación NE lo son también, excepto al día siguiente ($\text{lag} = 1$). Por el contrario, con situaciones E y W, los valores son siempre inferiores a 100, excepto en el mismo día.

Tabla 3.10: Valores medios del CAI según el tiempo de desfase (lag) en días, para situaciones dominantes. El intervalo de confianza del 95 % para el valor medio del CAI figura entre paréntesis.

LAG CÁLIDO	NE	E	W	NW	N	C	A	HANE	HAW	HAN
0	98(94-101)	96(90-103)	103(96-110)	97(90-103)	99(95-103)	97(91-103)	100(96-104)	101(94-108)	116(102-130)	97(91-103)
1	98(94-102)	102(95-109)	103(97-110)	99(92-107)	98(94-103)	102(96-108)	101(97-105)	98(92-104)	109(69-123)	95(88-102)
2	97(93-101)	102(95-110)	103(96-109)	100(93-107)	99(95-103)	103(98-109)	102(98-106)	99(93-106)	104(91-116)	92(86-98)
3	95(91-99)	101(94-108)	103(95-111)	97(90-105)	98(94-103)	101(96-106)	102(98-106)	100(94-107)	103(92-114)	95(89-101)
LAG FRÍO	NE	E	SW	W	C	A	HASW	HAW		
0	100(94-106)	103(96-110)	100(95-104)	103(98-108)	98(92-103)	100(97-103)	95(88-101)	95(88-101)		
1	98(92-105)	99(93-106)	101(96-105)	99(94-104)	98(92-104)	100(98-103)	94(87-100)	101(94-108)		
2	100(94-107)	97(91-103)	96(91-102)	98(93-104)	100(93-107)	101(99-104)	98(91-105)	98(90-105)		
3	100(94-105)	99(94-105)	95(90-101)	99(94-105)	102(96-108)	101(98-104)	100(93-107)	101(95-107)		

Tales resultados para el periodo frío son consistentes con los obtenidos por Morabito et al. (2006). Para dichos autores los ingresos hospitalarios por patologías del sistema Circulatorio en Florencia fueron significativamente más altos tras 24 horas con tiempo anticiclónico continental en invierno.

Cabe añadir, asimismo, que las secuencias de tipos de tiempo pueden suministrar información acerca del incremento de la morbilidad. Efectivamente, es probable que valores altos del CAI respondan al desarrollo de determinadas situaciones meteorológicas. Con los datos del presente trabajo se muestran en la Tabla 3.11 los resultados obtenidos.

En la Fig. 3.4 se muestra el periodo cálido.

Si se observan los resultados de la investigación de todas las posibles secuencias de 2 días de tipos de masas de aire dominantes (Tabla 3.11), se aprecia que, en el período cálido, 18 combinaciones muestran medias del CAI superiores al valor medio del período ($CAI > 100$). Entre estas, las combinaciones con mayor frecuencia de aparición son NE-NE (17,1 %) y A-A (17,1 %), con medias del CAI de 127 y 124 respectivamente. A continuación, la secuencia más frecuente, la N-N (9,8 %), presenta una media de 128, lo que da idea de la importancia de la persistencia de las masas de aire en valores elevados del CAI. Además, se puede deducir que, en el periodo cálido, el 64,2 % de las situaciones de 2 días que originan valor medios del $CAI > 100$ son debidos a la persistencia de la misma situación. Asimismo, cabe destacar que las secuencias NE-HANE y E-E, aun con frecuencias bajas, dan valores altos de CAI, por lo que podrían interpretarse como peligrosas para los enfermos cardíacos durante el periodo cálido.

Tabla 3.11. Secuencias de dos días de masas de aire con valores medios del CAI superiores a 100, y frecuencia relativa del número de situaciones.

Cálido	Nº días	Media CAI	Frec. rel. (%)
N-NE	12	122	4,2
N-N	28	128	9,8
N-HAN	11	119	3,8
NE-NE	49	127	17,1
NE-N	18	120	6,3
NE-HANE	7	135	2,4
E-NE	8	122	2,8
E-E	11	131	3,8
W-W	10	124	3,5
W-A	9	117	3,1
NW-N	8	109	2,8
C-C	20	125	7,0
A-A	49	124	17,1
HAN-HAN	9	118	3,1
HAN-A	8	124	2,8
HANE-NE	10	126	3,5
HANE-HANE	8	128	2,8
HANW-A	11	129	3,8
Total	286		100,0
Frío	Nº días	Media CAI	Frec. rel. (%)
NE-NE	13	117	5,6
E-E	20	124	8,5
SW-SW	11	116	4,7
SW-W	16	122	6,8
W-W	14	118	6,0
W-A	9	128	3,8
C-C	13	119	5,6
A-A	117	121	50,0
A-HASW	11	127	4,7
HAW-W	10	125	4,3
Total	234		100,0

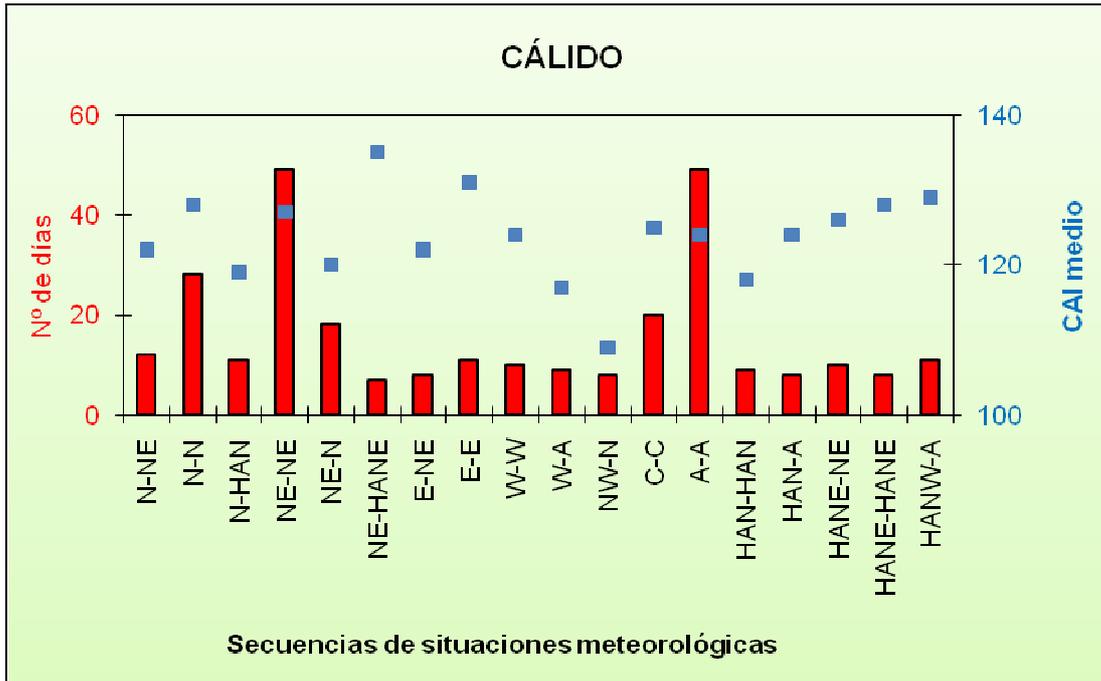


Fig. 3.4. Número de días correspondientes a secuencias de situaciones meteorológicas dominantes por enfermedades del aparato Circulatorio (rojo), y CAI medio (azul), para periodo cálido.

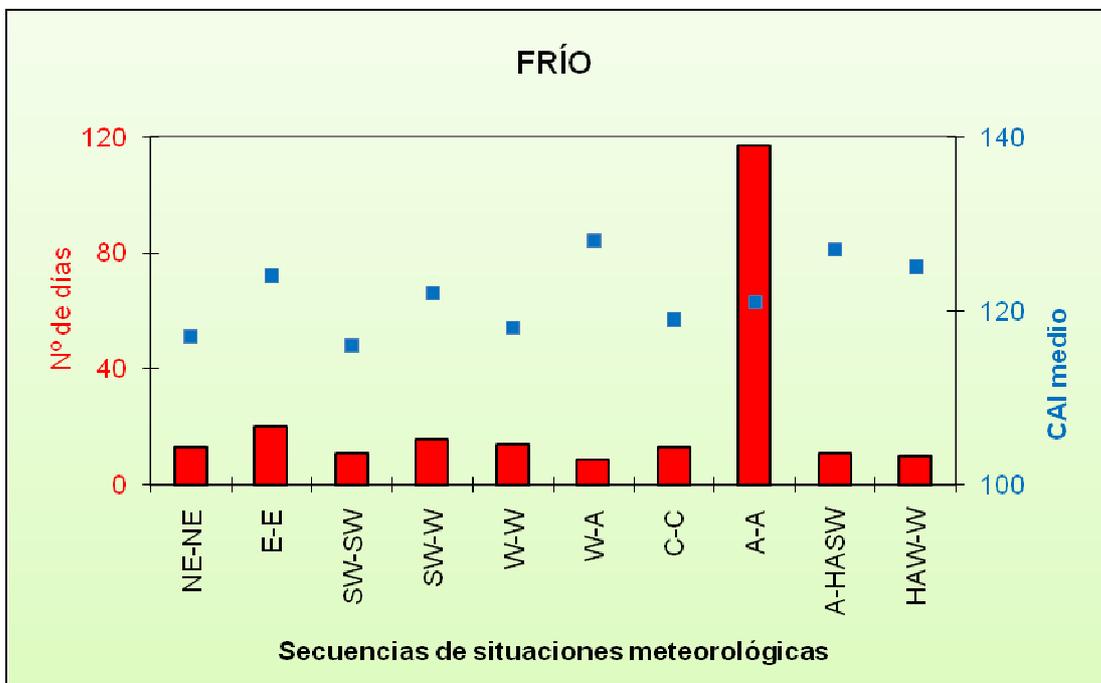


Fig. 3.5. Número de días correspondientes a secuencias de situaciones meteorológicas dominantes por enfermedades del aparato Circulatorio (rojo), y CAI medio (azul), para periodo frío.

En la Fig. 3.5 se muestra el periodo frío.

En el período frío, la combinación de mayor frecuencia, A-A (50,0%), origina un valor del CAI de 121, y las situaciones E-E (8,5%) dan valores del CAI de 124. También en este periodo la persistencia del mismo tipo de situación (71,4%) produce valores medios del CAI >100. Las secuencias W-A y A-HASW son las que han registrado valores de CAI más altos, a pesar de no ser las más frecuentes, por lo que se podrían considerar secuencias peligrosas para los enfermos cardíacos durante el periodo frío.

Tales resultados son consistentes con otros estudios realizados sobre zonas mediterráneas, como Grecia e Italia. Así, se ha constatado la asociación entre días de alta mortalidad en Grecia y tipos de tiempo con vientos de componente Suroeste (Kassomenos et al., 2001). Asimismo, se ha comprobado que la persistencia durante dos días consecutivos de masas de aire del mismo tipo anticiclónico producía una mayor mortalidad en Florencia, en meses de invierno. Esa misma consecuencia en la misma zona la producía una secuencia de dos días: el primero de carácter anticiclónico continental, y el segundo con vientos del Este o Noreste (Morabito et al., 2006). Los rápidos cambios de tiempo han sido asociados con aumentos de la morbilidad por enfermedades cardiovasculares en ancianos también en otros lugares, como en California (Ebi et al., 2004) y en las Islas Británicas (McGregor 2001).

3.3.2. Enfermedades del aparato Respiratorio

3.3.2.1. Análisis estadístico

a) Valores totales

En la Fig. 3.6 se aprecia la morbilidad total para cada una de las provincias, y por estratos de edad, durante el periodo de estudio.

La incidencia resulta ser muy superior, en términos totales, para los pacientes mayores de 65 años que para los menores de esa edad, por la mayor propensión de aquellos a fallos de tipo respiratorio.

Al igual que en las enfermedades del aparato Circulatorio, a pesar de que durante los años del estudio, la población de Toledo fue superior a la de Ciudad Real, sin embargo la morbilidad fue mayor en esta última provincia. Albacete, Cuenca y Guadalajara registran morbilidades totales en concordancia correlativa a sus poblaciones durante esos años.

La media diaria de admisiones hospitalarias para toda la Comunidad Autónoma fue de 50,8 casos por día.

b) Valores estacionales

A diferencia de la morbilidad por enfermedades del aparato Circulatorio, sí que hay diferencias estacionales claras en la debida a las del aparato Respiratorio, como se aprecia en la Fig. 3.7 El ANOVA ofrece diferencias significativas entre los valores estacionales ($p < 0,05$).

c) Valores mensuales

Se muestran en la Tablas 3.12 y 3.13 los valores estacionales y mensuales respectivamente de morbilidad durante todo el periodo estudiado, por provincia y según los estratos de edad considerados anteriormente. Tanto para mayores de 65 años como para menores de 65 años se alcanzan máximos en enero, con la excepción de Guadalajara en menores de 65 años, con el máximo en diciembre. Los valores máximos totales para la región siguen una tendencia marcada al alza en época fría, al igual que en la morbilidad por enfermedades del Circulatorio.

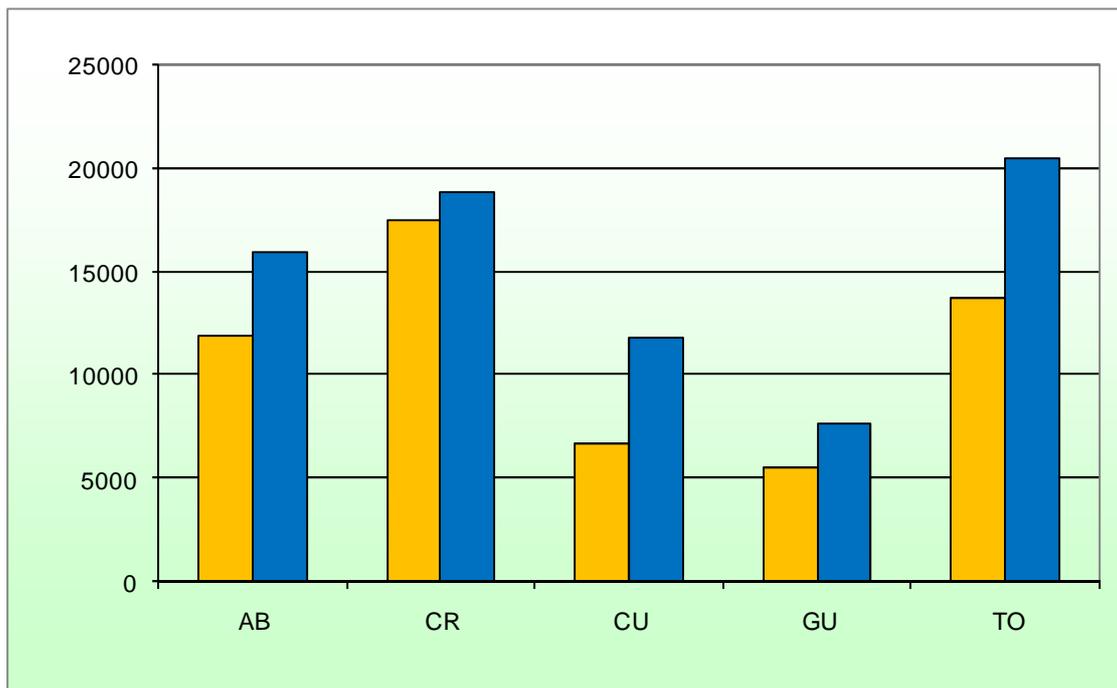


Fig. 3.6. Morbilidad por provincias, debida a enfermedades del aparato Respiratorio, en el periodo enero 2000 - diciembre 2006; oro:<65 años; azul:>65 años.

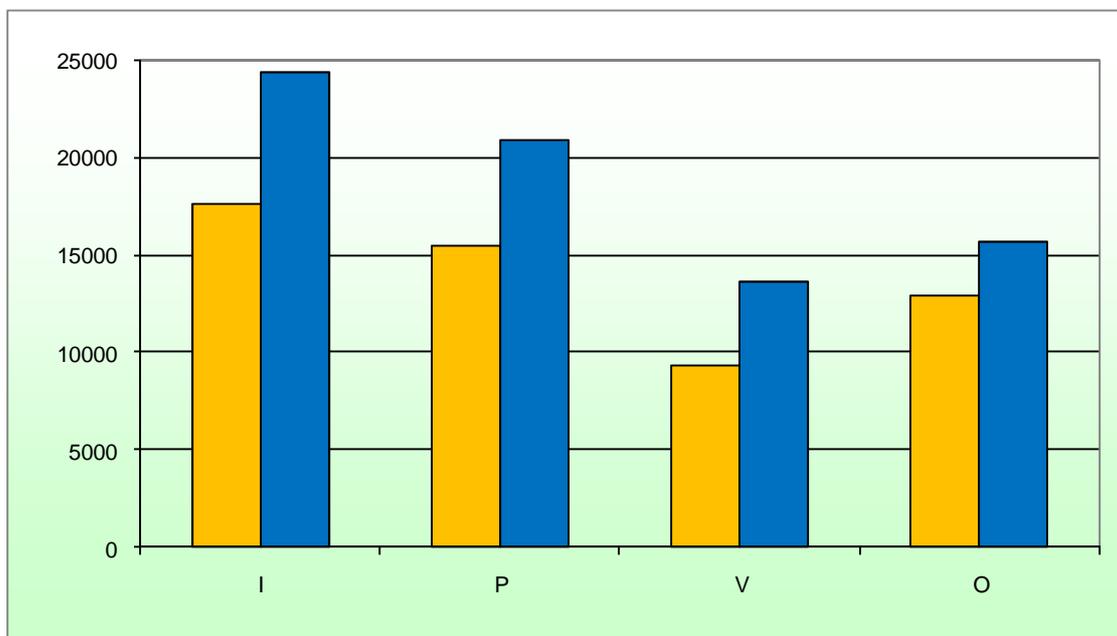


Fig. 3.7. Morbilidad estacional por enfermedades del aparato Respiratorio según edad, periodo enero 2000 - diciembre 2006; oro:<65 años; azul:>65 años.

Tabla 3.12. Totales estacionales de morbilidad (enfermedades del aparato Respiratorio), por provincia y región. En **negrita** los valores máximos. En *cursiva* los valores mínimos.

	AB		CR		CU		GU		TO		REGIÓN	
	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65
I	3908	5221	5374	6150	2118	3821	1833	2474	4362	6713	17595	24379
P	3290	4523	4939	5283	1845	3248	1508	2142	3845	5683	15427	20879
V	<i>1905</i>	<i>2906</i>	<i>3117</i>	<i>3442</i>	<i>1179</i>	<i>2209</i>	<i>819</i>	<i>1356</i>	<i>2288</i>	<i>3746</i>	<i>9308</i>	<i>13659</i>
O	2783	3258	4064	3953	1561	2536	1335	1636	3200	4305	12943	15688

En cuanto a los mínimos, estos se agrupan en agosto y septiembre, lo que sitúa los mínimos en meses de carácter cálido.

d) Índices de Admisión

El Índice de Admisión por enfermedades del aparato Respiratorio (RAI) se determina a partir de:

$$\text{RAI} = \frac{\text{Admisiones hospitalarias diarias Respiratorio}}{\text{Promedio de admisiones anual}} \times 100$$

Se trata simplemente del cociente entre los ingresos diarios por enfermedades del aparato Respiratorio y el promedio de admisiones anual, expresado el resultado en porcentaje. Este Índice normaliza los ingresos con respecto a una media anual. El análisis exploratorio muestra altos valores del RAI de lunes a jueves, y bajos el fin de semana, como se aprecia en la Fig. 3.8. El ANOVA confirmó diferencias significativas ($p < 0,05$).

El estudio se centra en invierno/primavera, por sus valores más altos.

Tabla 3.13. Morbilidad mensual, por provincias, por enfermedades del aparato Respiratorio. Para cada columna: en **negrita** los valores máximos, y en *cursiva* los valores mínimos.

	AB		CR		CU		GU		TO		REGIÓN	
	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65	<65	>65
Ene	1479	2224	2039	2607	793	1670	628	1043	1626	2720	6565	10264
Feb	1280	1612	1747	1841	711	1142	528	679	1294	1918	5560	7192
Mar	1251	1671	1805	1889	698	1152	583	790	1390	2084	5727	7586
Abr	1022	1499	1569	1778	538	1102	447	720	1177	1826	4753	6925
May	1017	1353	1565	1616	609	994	478	632	1278	1773	4947	6368
Jun	857	1087	1210	1263	511	775	394	508	1023	1384	3995	5017
Jul	592	947	1028	1128	371	736	280	410	691	1244	2962	4465
Ago	456	872	879	1051	297	698	<i>145</i>	438	<i>574</i>	1118	<i>2351</i>	4177
Sep	712	927	1129	<i>1012</i>	430	<i>691</i>	318	<i>409</i>	807	<i>1113</i>	3396	<i>4152</i>
Oct	999	1147	1416	1390	569	958	452	618	1150	1487	4586	5600
Nov	1072	1184	1519	1551	562	887	565	609	1243	1705	4961	5936
Dic	1149	1385	1588	1702	614	1009	677	752	1442	2075	5470	6923

3.3.2.2. Morbilidad del aparato Respiratorio según tipos de tiempo

a) Clasificación diaria por tipos de tiempo

Al igual que en el estudio de la morbilidad por patologías del sistema Circulatorio, se consideran situaciones dominantes las que superan el valor medio, que para el invierno es 630 días / 26 tipos de tiempo \approx 24 días y para la primavera es 644 días / 26 tipos de tiempo \approx 25 días. Se muestran tales situaciones en la Tabla 3.14.

En resumen, se obtienen como situaciones dominantes:

Invierno: NE/E/SE/SW/W/C/A/HASW, 444 casos, es decir, un 70,5% del total, con las 8 situaciones.

Primavera: NE/E/SW/W/N/C/A/HANW, 473 casos, es decir, un 73,4% del total, con las 8 situaciones.

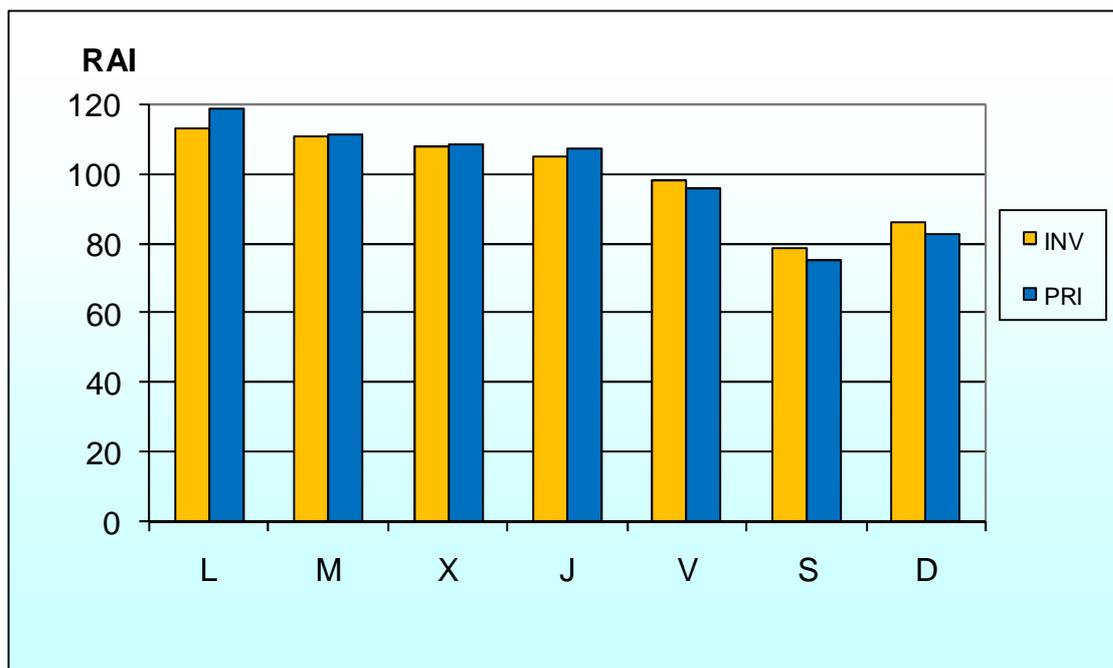


Fig. 3.8. Valores medios del RAI según día de la semana.

Tabla 3.14. Número de días de cada tipo de tiempo en cada estación. En **negrita**: número de días de las situaciones dominantes (aquellas que superan los 23 días).

TIPO DE TIEMPO	INVIERNO	PRIMAVERA
NE	30	71
E	37	38
SE	30	10
S	21	10
SW	33	46
W	38	45
NW	16	21
N	13	42
C	27	47
A	211	159
HCNE	3	13
HCE	2	5
HCSE	6	4
HCS	3	3
HCSW	5	4
HCW	6	4
HCNW	0	4
HCN	7	7
HANE	18	20
HAE	17	9
HASE	15	3
HAS	13	3
HASW	38	12
HAW	21	22
HANW	10	25
HAN	10	17
Total	630	644

La frecuencia relativa de las situaciones dominantes por años en cada estación se puede apreciar en las Tablas 3.15 y 3.16.

En el invierno destaca el valor total de 38,1 correspondiente al tipo A. Se puede afirmar también que hay una fuerte frecuencia relativa interanual en los tipos de tiempo en cada invierno.

Los resultados referidos a la primavera se presentan en la Tabla 3.16.

Destacan los tipos NE y A, con frecuencias relativas totales de 11,0 y 24,7. La frecuencia relativa interanual es menor que en el invierno.

Tabla 3.15. Frecuencia relativa de las situaciones dominantes, por años, para el periodo de invierno.

Invierno	NE	E	SE	SW	W	C	A	HASW
1999-2000	4,4	6,7	3,3	1,1	1,1	4,4	63,3	2,2
2000-01	4,4	4,4	1,1	12,2	18,9	4,4	14,4	11,1
2001-02	2,2	7,8	15,6	4,4	4,4	0,0	41,1	5,6
2002-03	6,7	0,0	0,0	12,2	10,0	3,3	27,8	10,0
2003-04	1,1	2,2	3,3	2,2	2,2	10,0	44,4	6,7
2004-05	11,1	14,4	4,4	2,2	0,0	3,3	37,8	3,3
2005-06	3,3	6,7	6,7	2,2	5,6	5,6	20,0	0,0
Total	4,8	5,9	4,8	5,7	6,0	4,3	33,5	6,0

Tabla 3.16. Frecuencia relativa de las situaciones dominantes, por años, para el periodo de primavera.

Primavera	NE	E	SW	W	N	C	A	HANW
2000	9,8	6,5	2,2	4,3	4,3	16,3	19,6	5,4
2001	13,0	2,2	16,3	13,0	7,6	1,1	21,7	6,5
2002	7,6	4,3	5,4	6,5	6,5	9,8	23,9	4,3
2003	9,8	7,6	10,9	6,5	9,8	6,5	21,7	2,2
2004	17,4	9,8	2,2	5,4	8,7	3,3	25,0	4,3
2005	9,8	4,3	9,8	5,4	5,4	4,3	31,5	1,1
2006	9,8	6,5	3,3	7,6	3,3	9,8	29,3	3,3
Total	11,0	5,9	7,1	7,0	6,5	7,3	24,7	3,9

b) Características meteorológicas de las situaciones dominantes y probabilidades condicionales.

De la misma forma como se ha procedido en el estudio de la morbilidad por enfermedades del aparato Circulatorio, se calculan los valores medios de los scores (valores normalizados) de las 4 variables según el tipo de situación dominante, para caracterizar las situaciones que se han seleccionado como más importantes. Los resultados para el periodo de invierno se aprecian en la Tabla 3.17.

En el invierno los máximos de cada variable se dan para distintos tipos de tiempo. Así el W para la temperatura, el A para la presión, el C para la humedad relativa y el E para la radiación. Sin embargo, en cuanto a los mínimos, el tipo E lo registra para la temperatura y la humedad relativa, y el C para la presión y la radiación.

Los resultados para la primavera se muestran en la Tabla 3.18.

En la primavera el tipo A registra valores máximos para la presión y la radiación, mientras que en el tipo C se dan los máximos para la temperatura y la humedad relativa. En cuanto a los mínimos, el tipo E lo posee para la temperatura y la humedad relativa, el N para la presión, y el C para la radiación.

Al igual que con las enfermedades del aparato Circulatorio, y con el fin de establecer la diferencia entre el número de admisiones según los tipos de tiempo, los días del periodo en estudio se dividen en cuatro clases y se les aplica un análisis Chi-cuadrado, y otro de probabilidad condicional. El análisis Chi-cuadrado revela una dependencia significativa ($p < 0,001$) de los niveles del RAI en ambas estaciones según el tipo de tiempo. Los resultados del análisis de probabilidad condicional se muestran en la Tabla 3.19.

Tabla 3.17. Características meteorológicas de las situaciones dominantes en el periodo de invierno (valores medios de los scores). En **negrita**: valores máximos. En *cursiva*: valores mínimos.

Invierno	T	P	HR	Rad
NE	-1,271	0,130	0,349	-0,786
E	<i>-1,410</i>	0,160	<i>0,219</i>	-0,657
SE	-1,350	0,675	0,862	-1,091
SW	-0,897	0,085	1,230	-1,294
W	-0,865	-0,659	1,237	-1,214
C	-1,150	<i>-1,598</i>	1,462	<i>-1,383</i>
A	-1,134	1,157	0,703	-0,818
HASW	-1,019	1,104	1,087	-1,051

Tabla 3.18: Características meteorológicas de las situaciones dominantes en el periodo de primavera (valores medios de los scores). En **negrita**: valores máximos. En *cursiva*: valores mínimos.

Primavera	T	P	HR	Rad
NE	-0,075	-0,425	-0,190	0,592
E	<i>-0,408</i>	0,097	<i>-0,585</i>	0,432
SW	-0,031	-0,473	0,001	0,286
W	-0,264	-0,660	0,279	0,264
N	-0,236	<i>-1,097</i>	0,226	0,277
C	0,208	-0,952	0,336	<i>-0,097</i>
A	-0,022	0,384	-0,417	0,706
HANW	-0,251	-0,530	0,241	0,287

Tabla 3.19. Probabilidades condicionales de admisiones según clases de RAI para las situaciones meteorológicas dominantes por enfermedades del aparato Respiratorio.

Invierno RAI	NE	E	SE	SW	W	C	A	HASW
0-99	57	46	57	55	61	63	52	68
100-124	27	30	23	33	29	33	26	16
125-149	13	22	20	0	11	4	11	5
>150	3	3	0	12	0	0	11	11
Primavera RAI	NE	E	SW	W	N	C	A	HANW
0-99	58	68	50	60	45	57	52	48
100-124	28	21	35	20	38	21	28	36
125-149	13	8	13	18	17	19	17	16
>150	1	3	2	2	0	2	4	0

Destaca la importancia de las situaciones SW, A y HASW en invierno, en el caso de sucesos extremos ($RAI > 150$); mientras que en primavera no aparecen diferencias relevantes. También son especialmente notables en invierno los tipos E (25), SE (20) y A (22), por sus altas probabilidades condicionales para un RAI de 125 o más, mientras que en primavera lo son W (20), C (21) y A (21).

c) Días de RAI altos: estudio de desfases y de secuencias de tipos de tiempo

Se realiza en este apartado el mismo estudio de las admisiones hospitalarias que para enfermedades del aparato Circulatorio, no solo en el mismo día de una determinada incidencia meteorológica, sino con desfases de 1, 2 y 3 días, ya que puede aportar información de interés en la investigación. Se muestran en la Tabla 3.20 los valores medios de RAI altos para las situaciones meteorológicas dominantes con los desfases mencionados.

Si se observan las relaciones entre el riesgo de una admisión hospitalaria por enfermedad respiratoria y las condiciones diarias del tiempo, los valores medios del RAI de la Tabla 3.20 muestran que, en invierno, cuando ocurren las situaciones NE, SE, W y C, los valores medios del RAI en el mismo día ($lag = 0$) y en los siguientes ($lag = 1, 2$ y 3) son siempre inferiores a 100, lo que indica que la media de las admisiones está siempre por debajo del valor medio del periodo. Por el contrario, cuando ocurre la situación A, los valores medios del RAI son siempre superiores a 100. La ocurrencia de situaciones E y HASW da origen a valores del RAI opuestos según el desfase.

En primavera, con situaciones SW y A, los valores del RAI son siempre superiores al valor medio (100) en el mismo día ($lag = 0$) y

posteriores, mientras que, con situaciones N son siempre inferiores. También con situaciones E y HANW son asimismo superiores a 100, excepto con lag = 0.

Por otro lado, las secuencias de tipos de tiempo pueden suministrar información acerca del aumento de la morbilidad. Efectivamente, es probable que valores altos del RAI respondan a la evolución de determinadas situaciones meteorológicas. Los resultados obtenidos con los datos del presente trabajo se muestran en la Tabla 3.21 y en las figuras 3.9 y 3.10.

La Fig. 3.9 corresponde al Invierno.

La Fig. 3.10 corresponde al periodo de Primavera.

Como puede apreciarse, en el Invierno la secuencia predominante es la A-A, con una frecuencia relativa del 68,5%, y un RAI elevado (137). Cabe destacar que el mayor RAI se da para la secuencia A-HASW, a pesar de su escasa frecuencia. Vuelve a reproducirse en el caso de las patologías del Respiratorio lo que ya se comentó para el sistema Circulatorio: el cambio de tipo de tiempo origina aumentos en la morbilidad. También es de destacar que el resto de las secuencias de este periodo suponen persistencia en los tipos de situaciones sinópticas. Podría conjeturarse que estas similitudes con el aparato Circulatorio serían explicables a partir de la estrecha relación existente entre complicaciones debidas a uno y otro sistema, lo que ya se ha estudiado en diversos trabajos clínicos y epidemiológicos (Meier et al., 1998; Spencer et al., 1998; Madjid et al., 2004).

Tabla 3.20: Valores medios del RAI según el tiempo de desfase (lag) en días, para situaciones dominantes. El intervalo de confianza del 95 % para el valor medio del RAI figura entre paréntesis.

LAG INVIERNO	NE	E	SE	SW	W	C	A	HASW
0	97(88-106)	107(88-127)	99(88-110)	101(83-119)	96(88-103)	92(84-100)	106(101-112)	95(80-111)
1	93(85-102)	105(92-119)	96(80-111)	117(74-160)	86(79-94)	93(85-102)	108(102-113)	100(85-114)
2	99(89-109)	100(79-121)	94(81-108)	83(43-120)	87(78-96)	99(89-108)	108(103-114)	103(90-116)
3	98(89-108)	97(88-106)	95(80-110)	61(22-101)	87(79-94)	94(85-103)	109(103-114)	103(88-118)
LAG PRIMAVERA	NE	E	SW	W	N	C	A	HANW
0	100(94-106)	98(89-108)	104(95-113)	108(100-116)	95(86-104)	91(83-99)	118(106-129)	95(86-103)
1	97(91-104)	106(96-116)	102(92-112)	100(91-109)	97(86-109)	100(92-107)	116(104-127)	101(92-110)
2	101(92-111)	105(97-114)	102(93-111)	99(90-108)	96(85-107)	103(95-110)	114(102-126)	101(91-111)
3	101(92-110)	102(93-112)	100(91-110)	106(98-114)	99(88-110)	95(88-102)	111(99-123)	100(92-109)

En el periodo de Primavera destaca, por un lado, la persistencia del mismo tipo de situación en el 100% de los casos con valores de RAI superiores a 100 y, por otro, la importancia que también aquí adquiere la secuencia A-A, con un 52,9% de los casos.

Tabla 3.21. Secuencias de dos días de masas de aire con valores medios del RAI superiores a 100, y frecuencia relativa del número de situaciones.

Invierno	Nº días	Media RAI	Frec. rel. (%)
E-E	12	127	11,1
SE-SE	5	114	4,6
W-W	5	111	4,6
C-C	5	110	4,6
A-A	74	137	68,5
A-HASW	7	154	6,5
Total	108		100
Primavera	Nº días	Media RAI	Frec. rel. (%)
NE-NE	14	116	16,5
SW-SW	9	121	10,6
N-N	8	113	9,4
C-C	9	116	10,6
A-A	45	125	52,9
Total	85		100

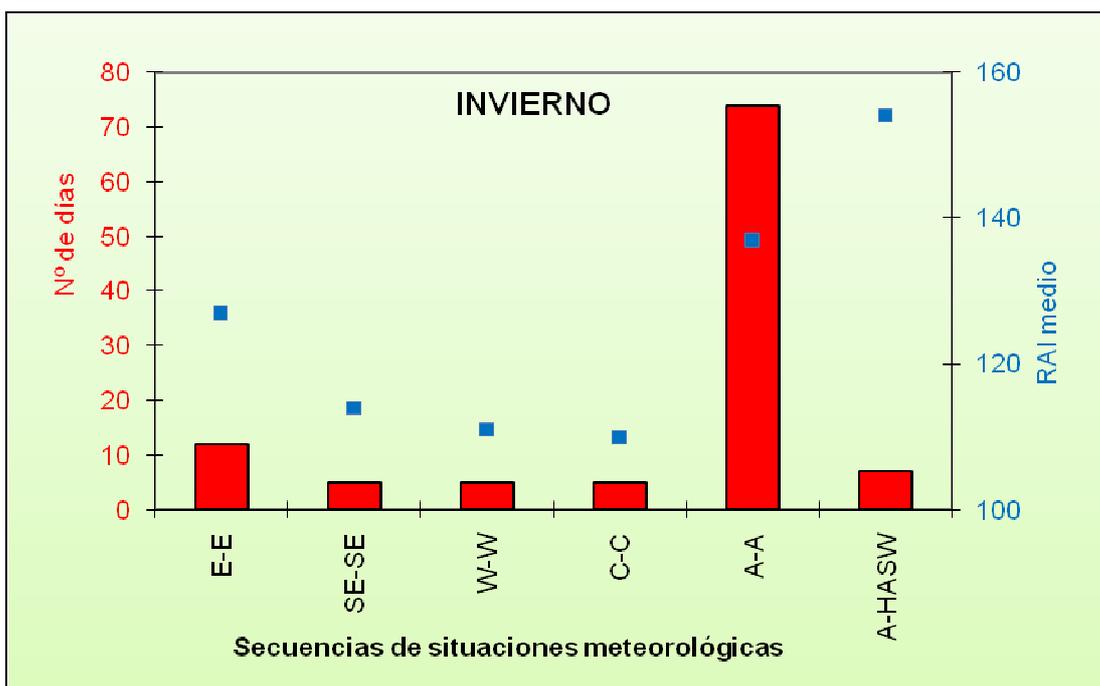


Fig. 3.9. Número de días correspondientes a secuencias de situaciones meteorológicas dominantes por enfermedades del aparato Respiratorio (rojo) y RAI medio (azul), para el periodo de Invierno.

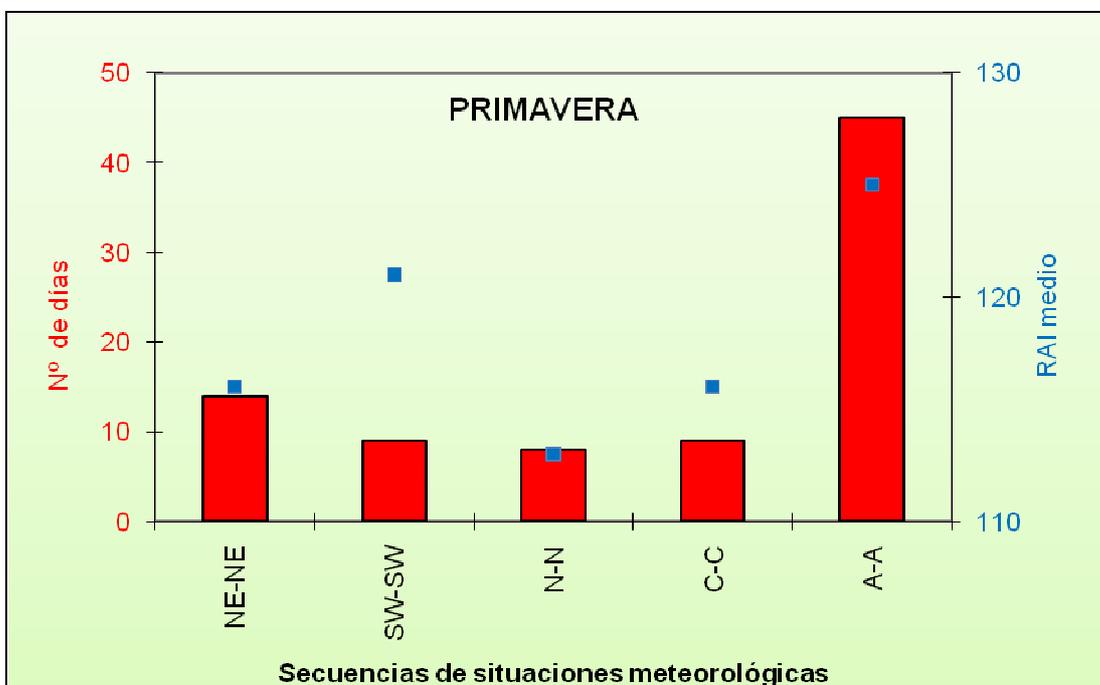


Fig. 3.10: Número de días correspondientes a secuencias de situaciones meteorológicas dominantes por enfermedades del aparato Respiratorio (rojo) y RAI medio (azul), para el periodo de Primavera.

3.4. CONCLUSIONES

De los análisis presentados en los apartados de este capítulo sobre la morbilidad pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

La media de admisiones hospitalarias diarias por enfermedades del aparato Circulatorio para toda la Comunidad Autónoma durante el periodo de estudio es de 59,8 casos por día, mientras que para las enfermedades del aparato Respiratorio es de 50,8 casos por día. Estas cifras son del mismo orden que las obtenidas en otras investigaciones en España (De Pablo et al. 2008).

En el periodo cálido los ingresos hospitalarios por enfermedades del aparato Circulatorio descienden significativamente ($p < 0,001$) los domingos respecto del periodo lunes-viernes, en tanto que, durante el periodo frío, solo existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores del CAI del jueves y viernes (altos) y los del martes (bajos).

En la morbilidad por patologías del sistema Respiratorio el RAI fue significativamente más alto de lunes a jueves que durante el fin de semana.

La clasificación de las admisiones por grupos de edad muestra que las personas de edad son las más afectadas. En el grupo de los mayores de 65 años el número de admisiones por enfermedades del aparato Circulatorio supera en más del doble a las de menores de 65 años. En enfermedades del sistema Respiratorio este número es apreciablemente inferior a 2.

El análisis Chi-cuadrado revela una dependencia significativa ($p < 0,01$) de los Índices de Admisión con respecto a los tipos de tiempo, tanto para los periodos cálido y frío en ingresos por patologías del aparato Circulatorio, como para los periodos invierno y primavera por enfermedades del aparato Respiratorio.

En la morbilidad por enfermedades del sistema Circulatorio las situaciones dominantes de mayor frecuencia relativa fueron, en el periodo cálido, NE (18,1%) y A (16,9%), en tanto que durante el periodo frío, fue A (29,2%). Realizado el mismo análisis para la morbilidad por patologías del sistema Respiratorio, los resultados fueron A (33,5%) durante el periodo invernal, y NE (11,0%) y A (24,7%) en primavera.

Para las admisiones relacionadas con patologías del sistema Circulatorio, resalta, en los casos de sucesos extremos ($CAI > 150$), la importancia relativa que tienen los tipos de tiempo E, NW, y A para el periodo cálido y el E en el frío, así como el W para sucesos de $CAI > 125$ o más, para el cálido, y los E y W para el frío. En cuanto a los ingresos relacionados con enfermedades del sistema Respiratorio, hay que señalar la importancia relativa de los tipos SW, A, y HASW para sucesos extremos ($RAI > 150$) en invierno, sin diferencias destacables en el caso de la primavera. Para $RAI > 125$, son relevantes los tipos E, SE y A en invierno, así como W, C y A en primavera.

En el periodo cálido, el CAI se encuentra por debajo de 100 para 0, 1, 2 y 3 días de desfase cuando tienen lugar las situaciones NE, N y HAN. En cambio, el CAI supera el valor 100 para 0, 1, 2 y 3 días de desfase, cuando tienen lugar las situaciones W, A, y HAW, con la salvedad de que, para el tipo A y $lag = 0$, el CAI vale 100.

En cuanto al periodo frío, los valores del CAI son siempre inferiores a 100 para 1, 2 y 3 días de desfase para el tipo E y W, excepto con $lag = 0$. Sin embargo, el CAI iguala o supera el valor medio para la situación A cuando los desfases son de 0, 1, 2, y 3 días.

En invierno el RAI es inferior a la media en los tipos NE, SE, W y C para desfases de 0, 1, 2 y 3 días, y superior a la media para desfases de 0, 1,

2, y 3 días en el tipo A. En primavera los tipos SW y A dan asimismo valores del RAI superiores a la media en el mismo día y posteriores (en el caso del tipo de tiempo SW el valor del RAI es 100 para un desfase de tres días), mientras que el tipo N es siempre inferior a la media.

Tiene una notable importancia la persistencia de las situaciones NE-NE, A-A y N-N para las admisiones por enfermedades del sistema Circulatorio, así como las A-A para las del Respiratorio.

Ciertas secuencias de tipos de tiempo originan elevados aumentos por encima de la media de admisiones en patologías de ambos sistemas, como es el caso de las secuencias NE-HANE (135) y E-E (131) en el caso de enfermedades del aparato Circulatorio durante el periodo cálido, y W-A (128) y A-HASW (127) en el periodo frío. Asimismo destacan por el mismo motivo las secuencias A-A (137) y A-HASW (154) en el caso de enfermedades del aparato Respiratorio durante el Invierno, así como A-A (125) en la Primavera.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson, R.W., Bremner, S.A., Anderson, H.R., Strachan, D.P., Bland, J.M., de Leon, A.P., 1999. Short-term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. *Arch. Environ. Health* **54**, 398–411.
- Ballester, F., Tenias, J.M., Perez-Hoyos, S., 2001. Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain. *J. Epidemiol. Community Health* **55**, 57–65.
- Beer, S.I., Kannai, Y.I., Waron, M.J., 1991. Acute exacerbation of bronchial asthma in children associated with afternoon weather changes. *Am. Rev. Respir. Dis.* **144**, 31–35.
- Burnett, R.T., Dales, R.E., Brook, J.R., Raizenne, M.E., Krewski, D., 1997. Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalizations for congestive heart failure in the elderly in 10 Canadian cities. *Epidemiology* **9**, 162–167.

-
- Burnett, R.T., Smith-Doiron, M., Stieb, D., Cakmak, S., Brook, J.R., 1999. Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Arch. Environ. Health* **54**, 130–139.
- Celenza, A., Fothergill, J., Kupek, E., Shaw, R.J., 1996. Thunderstorm associated asthma: a detailed analysis of environmental factors. *Br. Med. J.* **312**, 604–607.
- Chan, C.C., Chuang, K.J., Chen, W.J., Chang, W.T., Lee, C.T., Peng, C.M., 2008. Increasing cardiopulmonary emergency visits by long-range transported Asian dust storms in Taiwan. *Environmental Research* **106**, 393–400.
- Chang, C.C., Tsai, S.S., Ho, S.C., Yang, C.Y., 2005. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Taipei, Taiwan. *Environmental Research* **98**, 114–119.
- Chen, Y.S., Yang, C.Y., 2005. Effects of Asian dust storm events on daily hospital admissions for cardiovascular disease in Taipei, Taiwan. *J.Toxicol. Environ. Health* **68**, 1457–1464.
- Cheng, M.F., Tsai, S.S., Yang, C.Y., 2009. Air Pollution and Hospital Admissions for Myocardial Infarction in a Tropical City: Kaohsiung, Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health* **72**, 1135–1140.
- Chimonas, M.A. R., Bradford, D., 2007. Gessner Airborne particulate matter from primarily geologic, non-industrial sources at levels below National Ambient Air Quality Standards is associated with outpatient visits for asthma and quick-relief medication prescriptions among children less than 20 years old enrolled in Medicaid in Anchorage, Alaska. *Environmental Research* **103**, 397–404.
- Comrey, A.L., 1985. *Manual de Análisis Factorial*. Madrid: Cátedra.
- Crighton, E.J., Mamdani, M.M., Upshur, R.E., 2001. A population based time series analysis of asthma hospitalisations in Ontario, Canada: 1988–2000. *BMC Health Serv Res.* **1**, 7.
- Dawson, J., Weir, C., Wright, F., Bryden, C., Aslanyan, S., Lees, K., Bird, W., Walters, M., 2008. Associations between meteorological variables and acute stroke hospital admissions in the west of Scotland. *Acta Neurologica Scandinavica* **117**, 85–89.
- D’Ippoliti, D., Forastiere, F., Ancona, C., Agabiti, N., Fusco, D., Michelozzi, P., Perucci, C.A., 2003. Air pollution and myocardial infarction in Rome: a case-crossover analysis. *Epidemiology* **14**, 528–535.
- De Pablo, F., Tomás, C., Rivas, L., Diego, L., 2008. Winter circulation weather types and hospital admissions for cardiovascular, respiratory and digestive diseases in Salamanca, Spain. *Int. J. Climatol.* (www.interscience.wiley.com) doi: 10.1002/joc.1802.
- Ebi, K.L., Exuzides, K.A., Lau, E., Kelsh, M., Barnston, A., 2004. Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983–1998. *Int. J. Biometeorol.* **49**, 48–58.

-
- Farhat, S.C., Paulo, R.L., Shimoda, T.M., Conceição, G.M., Lin, C.A., Braga, A.L., Warth, M.P., Saldiva, P.H., 2005. Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions. *Braz. J. Med. Biol. Res.* **38**, 227–235.
- Fleiss, J. L., 2003. *Statistical Methods for rates and proportions*. 3 rd. ed. New York: John Wiley & Sons.
- Fusco, D., Forastiere, F., Michelozzi, P., Spadea, T., Ostro, B., Arca, M., Perucci, C.A., 2001. Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *Eur. Respir. J.* **17** (6), 1143–1150.
- García-Pina, R., Tobías, A., Sanz, J., Navarro, C., 2008. Effect of weather temperature on hospital emergencies in the region of Murcia, Spain, throughout the 2000-2005 and its use in epidemiological Surveillance. *Revista Española de Salud Pública* **82**, 153–166.
- Gent, J.F., Triche, E.W., Holford, T.R., Belanger, K., Bracken, M.B., Beckett, W.S., Leaderer, B.P., 2003. Association of low-level ozone and fine particles with respiratory symptoms in children with asthma. *JAMA.* **290** (14), 1859–1867.
- Gonçalves, F.L.T., Carvalho, F.C., Conde, M.R., Latorre, M.R.D., Saldiva, A., Braga, F., 2005. The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in Sao Paulo City. *Environment International* **31**, 343–349.
- Gonçalves, F.L.T., Coelho, M.S., Latorre, M.R.D., 2007. Component analysis on respiratory disease variability at Sao Paulo. *Highway and Urban Environment* **12**, 535–542.
- Gouveia, N., Fletcher, T., 2000a. Respiratory diseases in children and outdoor airpollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup. Environ. Med.* **57** (7), 477–483.
- Gouveia, N., Fletcher, T., 2000b. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *J. Epidemiol. Community Health.* **54** (10), 750–755.
- Greenburg, L., Field, F., Reed, J.I., Erhardt, C.L., 1966. Asthma and temperature change. II. 1964 and 1965 epidemiological studies of emergency clinic visits for asthma in three large New York City hospitals. *Arch. Environ. Health* **12**, 561–563.
- Hashimoto, M., Fukuda, T., Shimizu, T., Watanabe, S., Watanuki, S., Eto, Y., Urashima, M., 2004. Influence of climate factors on emergency visits for childhood asthma attack. *Pediatr. Int.* **46**, 48–52.
- Hinwood, A.L., De, K.N., Rodríguez, C., Jacoby, P., Runnion, T., Rye, P., Landau, L., Murray, F., Feldwick, M., Spickett, J., 2006. The relationship between changes in daily air pollution and hospitalizations in Perth, Australia 1992–1998: a case crossover study. *Int. J. Environ. Health Res.* **16** (1), 27–46.

-
- Ho, W., William, R., Hartley, Leann Myers, Meng-Hung Lin, Yu-Sheng Lin, Chih-Hui Lien, Ruey-Shiung, 2007. Air pollution, weather, and associated risk factors related to asthma prevalence and attack rate. *Line Environmental Research* **104**, 402–409.
- Hosseinpour, A. R., Mohammad, H. F., Masoud, Y., Fariba, A., Koroush, H. N., Dariush, F., 2005. Air pollution and hospitalization due to angina pectoris in Tehran, Iran: A time-series study. *Environmental Research* **99**, 126–131.
- Hwang, J.S., Chan, C.C., 2002. Effects of air pollution on daily clinic visits for lower respiratory tract illness. *Am. J. Epidemiol.* **155** (1), 1–10.
- Jalaludin, B.B., O’Toole, B.I., Leederd, S.R. 2004. Acute effects of urban ambient air pollution on respiratory symptoms, asthma medication use, and doctor visits for asthma in a cohort of Australian children. *Environmental Research* **95**, 32–42.
- Kashiwabara, K., Kohrogi, H., Ota, K., Moroi, T., 2002. High frequency of emergency room visits of asthmatic children on misty or foggy nights. *J. Asthma* **39**, 711–717.
- Kassomenos, P., Gryparis, A., Samoli, E., Katsouyanni, K., Lykoudis, S., Flocas, H.A., 2001. Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece. *Environ. Health Perspect.* **109**, 591–596.
- Kimes, D., Levine E., Timmins S., Weiss, S.R., Bollinger, M.E., Blaisdell, C., 2004. Temporal dynamics of emergency department and hospital admissions of pediatric asthmatics. *Environmental Research* **94**, 7–17.
- Koken, P.J.M., Piver, W.T., Elixhauser, A., Olsen, L.M., Portier, C.J., 2003. Temperature, air pollution, and hospitalization for cardiovascular diseases among elderly people in Denver. *Environ. Health Perspect.* **111**, 1312–1317.
- Lee, I.M., Tsai, S.S., Ho, C.K., Chiu, H.F., Wu, T.N., Yang, C.H., 2008. Air pollution and hospital admissions for congestive heart failure: Are there potentially sensitive groups? *Environmental Research* **108**, 348–353.
- Lin, S., Bell, E.M., Liu, W., Walker, R.J., Kim, N.K., Hwang, S.A., 2008. Ambient ozone concentration and hospital admissions due to childhood respiratory diseases in New York State, 1991–2001. *Environmental Research* **108**, 42– 47.
- Lin, S., Luo, M., Walker, R.J., Liu, X., Hwang, S.A., Chinery, R., 2009. Extreme High Temperatures and Hospital Admissions for Respiratory and Cardiovascular Diseases. *Epidemiology* **20**, 738–746.
- Linn, W.S., Szlachcic, Y., Gong, J.H., Kinney, P.L., Berhane, K.T., 2000. Air pollution and daily hospital admissions in metropolitan Los Angeles. *Environ. Health Perspect.* **108**, 427–434.
- Luginaah, I.N., Fung, K.Y., Gorey, K.M., Webster, G., Wills, C., 2005. Association of ambient air pollution with respiratory hospitalization in a government designated ‘‘area of concern’’: the case of Windsor, Ontario. *Environ. Health Perspect.* **113** (3), 290–296.

-
- Macfarlane, R., Campbell, M., Basrur, S.V., 2000. Toronto's Air: Let's make it healthy. *Toronto Public Health Promotion and Environmental Protection Office*.
- Magas, O.K., James T., Regens, G., Regens, J.L., 2007. Ambient Air Pollution and Daily Pediatric Hospitalizations for Asthma. *Env. Sci. Pollut. Res.* **14** (1), 19 – 23.
- Madjid, M., Aboshady, I., Awan, I., Litovsky, S., Casscells, S.W., 2004. Influenza and cardiovascular disease: is there a causal relationship? *Tex. Heart Inst. J.* **31**, 4–13.
- Mann, H. B., Whitney, D. R., 1947. “En una prueba de si una de dos variables al azar es estocástico más grande que la otra”. *Los anales de la estadística matemática*, **18**, 50-60.
- McGregor, G.S., Walters, J., 1999. Wordley Daily hospital respiratory admissions and winter air mass types, Birmingham, UK. *Int. J. Biometeorol.* **43**, 21–30.
- McGregor, G., 2001. The meteorological sensitivity of ischaemic heart disease mortality events in Birmingham, UK. *International Journal of Biometeorology*. **45**, 133–142.
- Meier, C.R., Jick, S.S., Derby, L.E., Vasilakis, C., Jick, H., 1998. Acute respiratory tract infections and risk of first-time acute myocardial infarction. *Lancet* **351**, 1467–1471.
- Middleton, N., Yiallourous, P., Kleanthous, S., Kolokotroni, O., Schwartz, J., Dockery, D.W., Demokritou, P., Koutrakis, P., 2008. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environmental Health* **7**, 39. doi: 10.1186/1476-069X-7-39 <http://www.ehjournal.net/content/7/1/39>.
- Mittleman, M.A., Verrier, R.L., 2003. Air pollution: small particles, big problems? *Epidemiology* **14** (5), 512–513.
- Morabito, M., Crisci, A., Grifoni, D., Orlandini, S., Cecchi, L., Bacci, L., Amede Modesti, P., Gensini, G.F., Maracchi, G., 2006. Winter air mass based synoptic climatological approach and hospital admissions for myocardial infarction in Florence, Italy. *Environmental Research* **102**, 52–60.
- Morris, R.D., Naumova, E.N., 1998. Carbon monoxide and hospital admissions for congestive heart failure: evidence of an increased effect at low temperature. *Environ. Health Perspect.* **106**, 649–653.
- Morris, R.D., Naumova, E.N., Munasinghe, R.L., 1995. Ambient air pollution and hospitalization for congestive heart failure among elderly people in seven large cities. *Am. J. Public Health* **85**, 1361–1365.
- Newson, R. et al., 1997. Effect of thunderstorms and airborne grass pollen on the incidence of acute asthma in England, 1990–1994. *Thorax* **52**, 680–685.
- Pantazopoulou, A., Katsouyanni, K., Kourea-Kremastinou, J., Trichopoulos, D., 1995. Short-term effects of air pollution on hospital emergency outpatient visits and admissions in the greater Athens, Greece area. *Environ. Res.* **69**, 31–36.

-
- Peel, J.L., Metzger, K.B., Klein, M., Flanders, W.D., Mulholland, J.A., Tolbert, P.E., 2007. Ambient air pollution and cardiovascular emergency departments visits in potentially sensitive groups. *Am. J. Epidemiol.* **165**, 625–633.
- Petroeschevsky, A., Simpson, R.W., Thalib, L., Rutherford, S., 2001 Associations between outdoor air pollution and hospital admissions in Brisbane, Australia. *Arch. Environ. Health* **56** (1), 37–52.
- Poloniecki, J., Atkinson, R., Ponce de León, A., Anderson, H.R., 1997. Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occup. Environ. Med.* **54**, 535–540.
- Ponka, A., Virtanen, M., 1996. Low-level air pollution and hospital admissions for cardiac and cerebrovascular diseases in Helsinki. *Am. J. Public Health* **86**, 1273–1280.
- Prescott, G.J., Cohen, G.R., Elton, R.A., Fowkes, F.G., Agius, R.M., 1998. Urban air pollution and cardiopulmonary ill health: a 14.5 year time series study. *Occup. Environ. Med.* **55**, 697–704.
- Rabinovitch, N., Zhang, L., Murphy, J.R., Vedal, S., Dutton, S.J., Gelfand, E.W., 2004. Effects of wintertime ambient air pollutants on asthma exacerbations in urban minority children with moderate to severe disease. *J. Allergy Clin. Immunol.* **114** (5), 1131–1137.
- Romieu, I., Meneses, F., Ruiz, S., Sienna, J.J., Huerta, J., White, M.C., Etzel, R.A., 1996. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **154**, 300–307.
- Salvador, M., Gargallo, P., 2006: "Análisis Factorial", *5campus.com, Estadística*. <http://www.5campus.com/leccion/factorial>
- Santos, U., Terra-Filho, M., Lin, C., Pereira, L., Vieira, T., Saldiva, P., Braga, A., 2008 Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in Sao Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health* **62**, 267–272.
- Schwartz, J., Morris, R., 1995. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit, Michigan. *Am. J. Epidemiol.* **142**, 23–35.
- Shang-Shyue T., William B., Goggins, Hui-Fen Chiu, Chun-Yuh Yang. 2003. Evidence for an Association Between Air Pollution and Daily Stroke Admissions in Kaohsiung, Taiwan. *Stroke*. **34**, 2612–2616.
- Spencer, F.A., Goldberg, R.J., Richard, C., Becker, R.C., Gore, J.M., 1998. Seasonal distribution of acute myocardial infarction in the Second National Registry of Myocardial Infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* **31**, 1226–1233.
- Stieb, D., Szyszkowicz, M., Rowe, B.H., Leech, J.A., 2009. Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environmental Health* **8**, 25. doi: 10.1186/1476-069X-8-25.

-
- Sutherland, A., Hall, I.P., 1994. Thunderstorms and asthma admissions. *Lancet* **344**, 1503–1504.
- Tolbert, P.E., Mulholland, J.A., MacIntosh, D.L., Xu, F., Daniels, D., Devine, O.J., Carlin, B.P., Klein, M., Dorley, J., Butler, A.J., Nordenberg, D.F., Frumkin, H., Ryan, P.B., White, M.C., 2000. Air quality and pediatric emergency room visits for asthma in Atlanta, Georgia, USA. *Am. J. Epidemiol.* **151** (8), 798–810.
- Tortolero, S.R., Bartholomew, L.K., Tyrrell, S., Abramson, S.L., Sockrider, M.M., Markham, C.M., Whitehead, L.W., Parcel, G.S., 2002. Environmental allergens and irritants in schools: a focus on asthma. *J. Sch. Health* **72** (1), 33–38.
- Villeneuve, P., Leech, J., Bourque, D., 2005. Frequency of emergency room visits for childhood asthma in Ottawa, Canada: the role of weather. *Int. J. Biometeorol.* **50**, 48–56.
- Wellenius, G.A., Bateson, T.F., Mittleman, M.A., Schwartz, J., 2005. Particulate air pollution and the rate of hospitalization for congestive heart failure among medicare beneficiaries in Pittsburgh, Pennsylvania. *Am. J. Epidemiol.* **161**, 1030–1036.
- Wellenius, G.A., Schwartz, J., Mittleman, M.A., 2006. Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities. *Am. J. Cardiol.* **97**, 404–408.
- Wilson Adam M., Cameron P., Wake T.K., Salloway, J.C., 2005. Air pollution, weather, and respiratory emergency room visits in two northern New England cities: an ecological time-series study. *Environmental Research* **97**, 312–321.
- Wong, T.W., Lau, T.S., Yu, T.S., Neller, A., Wong, S.L., Tam, W., Pang, S.W., 1999. Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong. *Occup. Environ. Med.* **56**, 679–683.
- Wordley, J., Walters, S., Ayres, J., 1997. Short term variations in hospital admissions and mortality and particulate air pollution. *Occup. Environ. Med.* **54**, 108–116.
- Xirasagar, S., Heng-Ching, L., Tsai-Ching, L., 2006. Seasonality in pediatric asthma admissions: the role of climate and environmental factors. *Eur. J. Pediatr.* **165**, 747–752.
- Yang, C.Y., Chen, Y.S., Chiu, H.F., Goggins, W.B., 2005. Effects of Asian dust storm events on daily stroke admissions in Taipei, Taiwan. *Environ. Res.* **99**, 79–84.
- Yang, Q., Chen Y., Krewski, D., Burnett, R.T., Shi, Y., McGrail, K.M., 2005. Effect of short-term exposure to low levels of gaseous pollutants on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations. *Environmental Research* **99**, 99–105.
- Yuksel, H., Tanac, R., Tez, E., Demir, E., Coker, M., 1996. Childhood asthma and atmospheric conditions. *Acta Paediatr. Jpn.* **38**, 606–610.

Capítulo 4: MORTALIDAD

4.1. INTRODUCCIÓN

En diferentes trabajos en el mundo se ha estudiado la relación existente entre las tasas de mortalidad según distintas características de los sujetos y las variables climáticas y ambientales. De entre estas, destaca la temperatura como un factor de riesgo para la salud pública (Kovats y Hajat, 2008). Como resultado de tales investigaciones se han identificado diversos factores críticos de vulnerabilidad, tales como la edad, la contaminación atmosférica de la zona, las patologías, la condición social, etc. (Borrell et al., 2006; Harlan et al., 2006; Bouchama et al., 2007). Las olas de calor, como la del 2003 en Europa, han incrementado el interés de los científicos (Schar et al., 2004; Pirard et al., 2005), así como el de la población en general.

Entre los estudios realizados destacan los que analizan las tendencias de las correlaciones entre mortalidad y variables meteorológicas a lo largo del tiempo, en periodos largos, de varias décadas. En este sentido, Sheridan et al. (2009) subrayan cómo el avance en las condiciones de confort material en el periodo 1975-2004 ha dado origen a una disminución de la mortalidad por calor en Estados Unidos.

Asimismo, Davis et al. (2003) han hecho hincapié en que la mortalidad relacionada con el calor ha mejorado de forma notable en ciudades de países desarrollados, como consecuencia de las buenas atenciones sanitarias y del incremento del aire acondicionado. Donaldson et al. (2003) y Carson et al. (2006) concluyen, en la misma línea de razonamiento, que la relación mortalidad-calor tiende a disminuir en este tipo de población.

Los seres humanos mantienen una temperatura uniforme de aproximadamente 37,0° C, a pesar de las variaciones térmicas del entorno. La respuesta termorreguladora del organismo mantiene a este dentro de ciertos límites, sin que por ello la salud resulte perjudicada. Por otro lado, la temperatura se usa como parámetro indicador del grado de sensación de confort para determinadas actividades físicas, como por ejemplo, el deporte. Ahora bien, los valores excesivos de temperatura pueden producir un incremento significativo en el riesgo de muerte, especialmente en las personas mayores. Esta percepción común ha sido ampliamente documentada desde antiguo y continúa siendo objeto de estudio en la actualidad, especialmente en lo que se refiere a procesos cardiopulmonares (Martens, 1998).

En la investigación científica se han estudiado diversos mecanismos como posibles responsables de tales incrementos de mortalidad, tales como

los cambios en la viscosidad y presión sanguíneas, cambios en los ritmos cardíacos etc. Además se eleva el número de infecciones pulmonares por broncoconstricción en los meses fríos (Schaanning et al., 1986).

No obstante, existen otros factores, tanto meteorológicos como ambientales, que pueden modificar el confort térmico, como es el caso de los contaminantes, que, con frecuencia, actúan de manera sinérgica.

Aunque las relaciones entre niveles de temperatura y tasas de mortalidad se han estudiado con profusión, no sucede lo mismo con las variaciones de temperatura dentro del mismo día, y si este dato es un factor de riesgo para la mortalidad, independientemente de la correspondiente temperatura. Kan et al. (2007) estudiaron la asociación de tales parámetros mediante un modelo aditivo semi-paramétrico generalizado, que aplicaron a resultados de 2001 a 2004 en Shangai. Encontraron una correlación positiva importante, controlando diversas variables.

Se ha estudiado y analizado la influencia de la temperatura aparente y la mortalidad en México D.F. y Monterrey, por regresión de Poisson. Los predictores incluían temperatura media diaria aparente, estación y día de la semana. Los resultados se daban para grupos distintos: de 0 a 14 años, y mayores de 65, con valores similares, tanto para los grupos de edad, como para las ciudades. Esta investigación fue llevada a cabo por O'Neill et al. (2005), sobre datos referidos al periodo 1995-1998.

Laaidi et al. (2006) evaluaron la relación entre temperatura y mortalidad en varias zonas de Francia con diversas condiciones climáticas y estilos de vida, para determinar su óptimo térmico (definido como la banda de temperaturas de 3°C con respecto a la mortalidad más baja en cada área) y efectuar comparaciones posteriores. Se excluyeron situaciones extremas tales como olas de calor. Asimismo se examinaron diversos tipos

de enfermedades y grupos de edad. Los resultados incluían curvas en forma de V o U asimétricas, con un óptimo térmico más bajo para las personas mayores, y generalmente más bajo para las mujeres que para los hombres.

Al igual que sucede con otras patologías cardiovasculares, las hemorragias cerebrales espontáneas tienen una mayor incidencia en los meses fríos, especialmente en zonas templadas (Passero et al., 2000; Nakaji et al., 2004; Ohwaki et al., 2004). Nakaguchi et al. (2008) analizaron en pacientes japoneses la relación entre incidencia de hemorragias cerebrales y datos meteorológicos tales como presión atmosférica, temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento y tifones.

Otros autores, como Vacnekova et al. (2008), han estudiado el efecto de la temperatura en la mortalidad durante los meses cálidos en Australia, en asociación con contaminantes tales como ozono y partículas, encontrando relaciones significativas.

La presión atmosférica es otro factor cuyas variaciones pueden influir en la mortalidad. Se han llevado a cabo diferentes estudios para evaluar su importancia en enfermedades cerebrovasculares y respiratorias. Guntzel et al., (1996) así como González et al. (2001) encontraron una asociación entre tendencia anticiclónica y mortalidad en Circulatorio a medio-largo plazo y también para el Respiratorio a largo plazo.

A lo largo de la historia de la Biometeorología se ha buscado integrar las variables meteorológicas en unas entidades numéricas denominadas Índices térmicos, que puedan dar una idea cuantitativa sobre el grado de sensación térmica subjetiva. Uno de los objetivos del presente estudio consiste en averiguar la relación estadística entre tales Índices y la mortalidad diaria de una población determinada, en este caso la de las diversas provincias de Castilla-La Mancha durante el periodo 2000-2004.

Como las posibles combinaciones de factores son muchas, han sido también muchos los Índices ideados. A pesar de su abundante número, son relativamente pocos los habitualmente empleados en la práctica universal, destacando entre ellos el *Heat Index* (HI), el *Wind Chill Index* (WCI), el *Apparent Temperature* (AT), el *Net Effective Temperature* (NET), el *Effective Temperature* (ET), el Humidex (H), el *Weather Stress Index* (WSI) y el *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT).

Hay que tener en cuenta que asociar el grado de sensación térmica con determinadas combinaciones algebraicas de parámetros meteorológicos supone aceptar un patrón del ser humano que no es aplicable por igual a todos los individuos que componen la población. En efecto, se dan una gran diversidad de condiciones físicas y de edad, que condicionan el valor de los resultados obtenidos. De hecho, el grado de confort térmico depende de factores que, fundamentalmente, son la velocidad del viento, la temperatura del aire, la humedad del aire y la radiación procedente del sol. Este último factor, juntamente con la velocidad del viento, puede variar considerablemente dependiendo del ambiente circundante. Así, la velocidad del viento puede verse reducida por efecto de las grandes extensiones forestales, en tanto que fenómenos locales como masas nubosas pueden afectar a los niveles de radiación solar. Otros factores, como la temperatura y la humedad, son menos variables.

La aplicación de los Índices térmicos al estudio de la mortalidad de poblaciones humanas se ha incrementado en los últimos años. Así, Yan (1997) utilizó el AT. Por su parte Tuller (1997) aplicó diversos modelos e Índices como el ET, el H, el WCI y el Índice de Steadman (desarrollado para climas templados) al control de la sensación térmica de frío producida por el viento marino en verano. Por otro lado, Leung et al. (2008) estudiaron la asociación entre la mortalidad por enfermedades del aparato

circulatorio y el NET, encontrando que las muertes por hipotermia tienen lugar de manera significativa cuando el NET mínimo diario es menor de 14, produciéndose los fallecimientos de manera especial en los mayores de 65 años. El Índice AT fue utilizado por O'Neill et al. (2005) en relación con la mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio en México, por aplicación de regresión de Poisson en diversos estratos de edad.

Actualmente se emplean igualmente otros tipos de Índices que tienen en cuenta los aspectos termofisiológicos. Así el PMV (*Predicted Mean Vote*) y la temperatura fisiológica equivalente (PET) se derivan del balance de energía del ser humano (Matzarakis et al., 1999). Este último Índice se ha utilizado para investigar las mejores condiciones climáticas en actividades deportivas (Brandenburg et al., 2007).

Las condiciones bioclimáticas de una determinada área de fuerte contaminación, como es el caso de Trier (Alemania) fueron estudiadas por Junk et al. (2003) quienes investigaron el efecto de las concentraciones de contaminantes en el aire, tales como NO₂, SO₂, CO, O₃ y PM10. Estos investigadores describieron la relación entre las concentraciones de inmisión de estos contaminantes y la salud humana, clasificando sus resultados en seis clases.

Frecuentemente el empleo de Índices térmicos es objeto de polémica, que en ocasiones desborda el mero debate científico al encontrarse implicadas instancias políticas y sociales. En ese marco, algunos Índices como el WCI han recibido fuertes críticas, ya que en él se incluyen exclusivamente los efectos de pérdida de calor de carácter superficial, sin tener en cuenta el efecto que en el intercambio térmico del cuerpo humano tiene la ropa (Tuller, 1997). Asimismo, algunos autores han subrayado que

un Índice que es función de dos variables no puede dar más información que las dos variables por separado (Tremblay, 2003).

También se ha analizado en las publicaciones científicas el caso de la creación de un Índice térmico, como fue el caso de Pittsburgh (Longhurst, 2005). Este autor indicó que las dificultades con las que se topan los investigadores se deben a que en la creación de un Índice nuevo están involucrados factores como los cambios tecnológicos, los desarrollos científicos y los conflictos políticos y de jurisdicción.

4.2. DEFINICIONES

a) H (*Humidex*)

Este Índice fue propuesto por Lally y Watson (1960) con el fin de caracterizar el grado de calor ambiental a partir de la tensión de vapor y de la temperatura del aire. Las autoridades medioambientales canadienses adoptaron el término Humidex, tras cambiar las unidades Fahrenheit en Celsius (Masterton y Richardson, 1979). Se obtiene a partir de:

$$H = T + (5/9) (e-10)$$

donde T es la temperatura en grados centígrados y e es la tensión de vapor en hPa, medida mediante el psicrómetro. Esta medida no siempre resulta disponible, por lo que se estima como una función de la humedad relativa y la temperatura a partir de:

$$e = 6,112 \cdot 10^{((7,5T)/(237,7+T))} \text{HR}/100$$

donde HR es la humedad relativa en % (Conti et al., 2005)

Los valores del Índice Humidex se clasifican en las categorías de confort siguientes:

Confortable	$H < 27$
No confortable ligero	$27 < H < 30$
No confortable alto	$30 < H < 40$
Peligroso	$40 < H < 55$
Muy peligroso	$H > 55$

El Humidex ha resultado ser un Índice sensible a los cambios de humedad y su valor suele ser mayor que la temperatura del aire, indicando así la contribución de la humedad (Tuller, 1997).

b) ET (*Effective Temperature*)

Este Índice fue descrito por Ono y Kawamura (1991), quienes desarrollaron el concepto de temperatura efectiva, a partir de la temperatura y la humedad relativa. Este Índice se ha aplicado al estudio de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares (Gonçalves et al., 2007). Se define como:

$$ET = T - 0,4 [(1 - HR/100) (T - 10)]$$

donde T es la temperatura del aire en °C y HR es la humedad relativa en %.

La escala de confort térmico, según Fanger (1970), para dicho Índice es:

<u>ET</u>	<u>Sensibilidad térmica</u>	<u>Sensación</u>
< 13	muy frío	stress frío

13-16	frío fresco	frío
16-19	fresco	enfriamiento
19-22	ligeramente fresco	vasoconstricción
22-25	confort	neutra
25-28	cálido	ligero sudor
28-31	calor moderado	sudor moderado
31-34	caliente	sudor abundante
> 34	mucho calor	termorregulación desajustada

c) WCI (*Wind Chill Index*)

La fórmula de este Índice es:

$$WCI = (12,12 + 11,6v^{0,5} - 1,16v) (33,0 - T)$$

donde T es la temperatura del aire en °C y v es la velocidad del viento en m/s. Este Índice fue inicialmente desarrollado por Siple y Passel (1945) y, a pesar de las fuertes críticas que ha recibido, continúa siendo ampliamente usado.

d) RSI (*Relative Strain Index*)

Este Índice se define (Garín y Bejarán, 2003) a partir de:

$$RSI = (10,7 + 0,74(T - 35)) / (44 - e)$$

donde T es la temperatura en °C y e es la presión parcial del vapor del agua en la atmósfera expresada en mm de Hg. Dicho Índice ya fue estudiado por Lee y Henschel (1966), y se ha aplicado a la investigación de la mortalidad y morbilidad por olas de calor (Giles et al., 1990).

e) WBGT (*Wet Bulb Global Temperature*)

Este Índice, que inicialmente se obtenía a partir de tres temperaturas experimentales distintas, se calcula actualmente por una aproximación con los datos de temperatura ambiente y humedad relativa, a partir de la siguiente fórmula (Leung et al., 2008):

$$WBGT=0,567T+0,393e+3,94$$

donde T es la temperatura en °C y e se relaciona con la humedad relativa mediante la expresión:

$$e = (HR/100) 6,105 \exp(17,27T/(237,7+T))$$

siendo HR la humedad relativa en %.

f) NET (*Net Effective Temperature*)

El NET tuvo como predecesor al Índice Temperatura Efectiva, introducida por Missenard en 1937 (Henschel, 1987). Incluía el efecto de la humedad relativa, y se limitaba a las épocas cálidas. Para extender su uso a situaciones de frío se introdujo el efecto de la velocidad del viento (WMO, 1972). El cálculo se realiza a partir de la expresión:

$$NET=37(37-T)/(0,68-0,0014HR+1/(1,76+1,4v^{0,75}))-0,29T(1-0,01HR)$$

donde T es la temperatura ambiente en °C, v es la velocidad del viento en m/s y HR es la humedad relativa en %.

El uso del NET tiene una serie de ventajas, que han sido resumidas por Li y Chan (2000) de la siguiente forma:

- Facilidad de cálculo y de interpretación.
- Es aplicable tanto en situaciones de calor como de frío.
- Da una sensibilidad parecida al WCI y al AT.
- Su carácter predictivo es superior al de otros Índices.
- Es consistente con la percepción humana.

Podemos afirmar que, en general, el NET crecerá con las temperaturas altas de verano, mientras que su valor disminuirá en los meses fríos.

g) AT (*Apparent Temperature*)

Este Índice fue ideado inicialmente, a finales de los años 70, para la medida de la sensación térmica en ambientes cerrados. Posteriormente, ya en la década de los 80, se modificó su expresión para incluir los factores velocidad del viento y radiación del sol (Steadman, 1994). Se trata de un Índice válido para un amplio rango de temperaturas. En el presente trabajo se ha empleado la versión en la que no aparece el efecto de la radiación solar. En Estados Unidos la versión para periodo cálido se denomina Heat Index.

Las fórmulas para ambas versiones son:

$$AT_1 = T + 0,33e^{-0,70v} - 4,00$$

$$AT_2 = T + 0,348e^{-0,70v + 0,70Q/(v+10)} - 4,25$$

donde T es la temperatura en $^{\circ}\text{C}$, e es la tensión de vapor del agua en hPa , v es la velocidad del viento en m/s y Q es la radiación neta absorbida por unidad de área (W/m^2).

4.3. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos de mortalidad totales de Castilla-La Mancha por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio fueron agrupados según meses y años, desde 2000 hasta 2004, completando, por tanto, 60 valores mensuales. Como valores de Índices se tomaron los promedios mensuales obtenidos a partir de las variables regionales del ACP aplicado a los datos de los cinco observatorios de Castilla-La Mancha. Se confirmó previamente la bondad del ACP aplicado a la velocidad del viento, con KMO superior a 0,6, esfericidad de Bartlett nula y varianza retenida del orden del 70%. Tales operaciones se realizaron con el paquete estadístico SPSS v15.0.

Se elaboraron los dieciséis gráficos de tendencia correspondientes comparativos de la mortalidad con cada uno de los Índices. Del aspecto de dichas gráficas se podría conjeturar la existencia de una correlación entre Índices y mortalidades (tanto para enfermedades del sistema Circulatorio como para las del Respiratorio). Para estudiarlas, en el presente trabajo se ha recurrido al coeficiente de correlación de Spearman, habitualmente empleado en distribuciones no normales (Cannavos, 1995)

4.4. RESULTADOS

4.4.1. Datos estadísticos

En las Tablas 4.1 y 4.2 se aprecia la mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio y Respiratorio respectivamente, durante el periodo

2000-2006 para cada provincia. Se han desglosado los resultados según sexo y tramos de edad, para ambos tipos de patologías. Al igual que sucedía con la morbilidad, la mortalidad es muy superior en pacientes mayores de 65 años, por su mayor propensión a fallos de tipo circulatorio y respiratorio.

En las Fig. 4.1 y 4.2 se observa la mortalidad total según tramos de edad, para cada provincia, en el periodo de estudio. Destaca el elevado número de defunciones de la provincia de Albacete, para ambos tipos de enfermedades, a pesar de su menor población en comparación con las otras provincias.

Tabla 4.1. Mortalidad total por provincias, según edad y sexo, por enfermedades del aparato Circulatorio, periodo enero 2000- diciembre 2006.

Mortalidad Circ.		HOMBRES	MUJERES
AB	< 65	280	92
	> 65	1392	1930
	Total AB	1672	2022
CR	< 65	147	50
	> 65	697	1123
	Total CR	844	1173
CU	< 65	94	26
	> 65	767	1019
	Total CU	861	1045
GU	< 65	127	46
	> 65	698	864
	Total GU	825	910
TO	< 65	155	36
	> 65	705	1066
	Total TO	860	1102

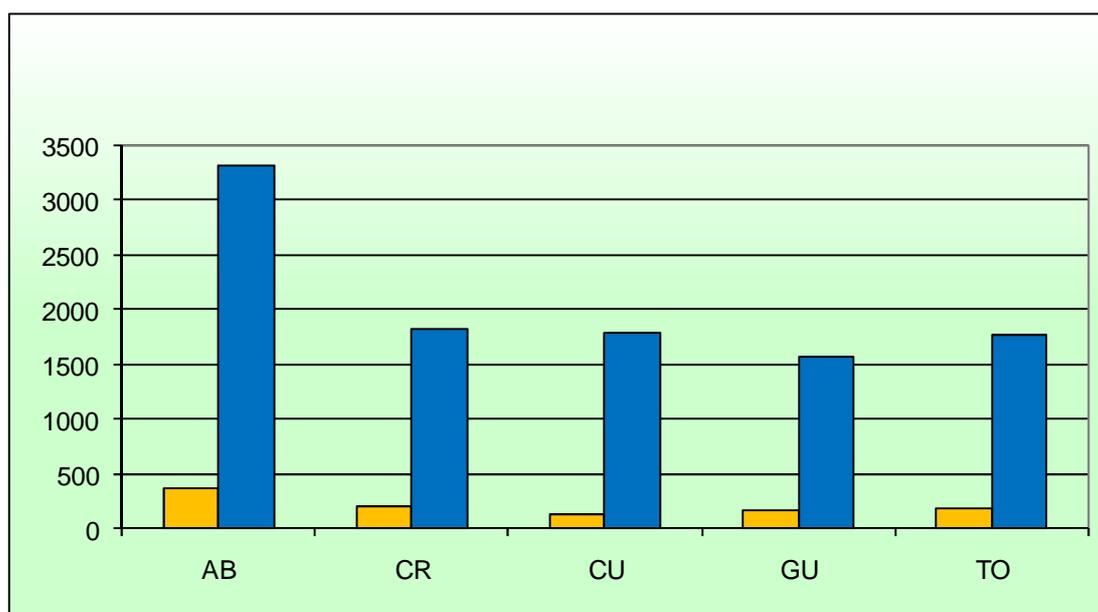


Fig. 4.1. Mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio, según provincia y edad, periodo enero 2000- diciembre 2006; oro: < 65 años; azul: > 65 años.

Tabla 4.2. Mortalidad total por provincias, según edad y sexo, por enfermedades del aparato Respiratorio, periodo enero 2000 - diciembre 2006.

Mortalidad Resp.		HOMBRES	MUJERES
AB	< 65	68	24
	> 65	694	526
	Total AB	762	550
CR	< 65	38	14
	> 65	381	327
	Total CR	419	341
CU	< 65	18	9
	> 65	331	254
	Total CU	349	263
GU	< 65	32	15
	> 65	354	260
	Total GU	386	275
TO	< 65	38	14
	> 65	412	309
	Total TO	450	323

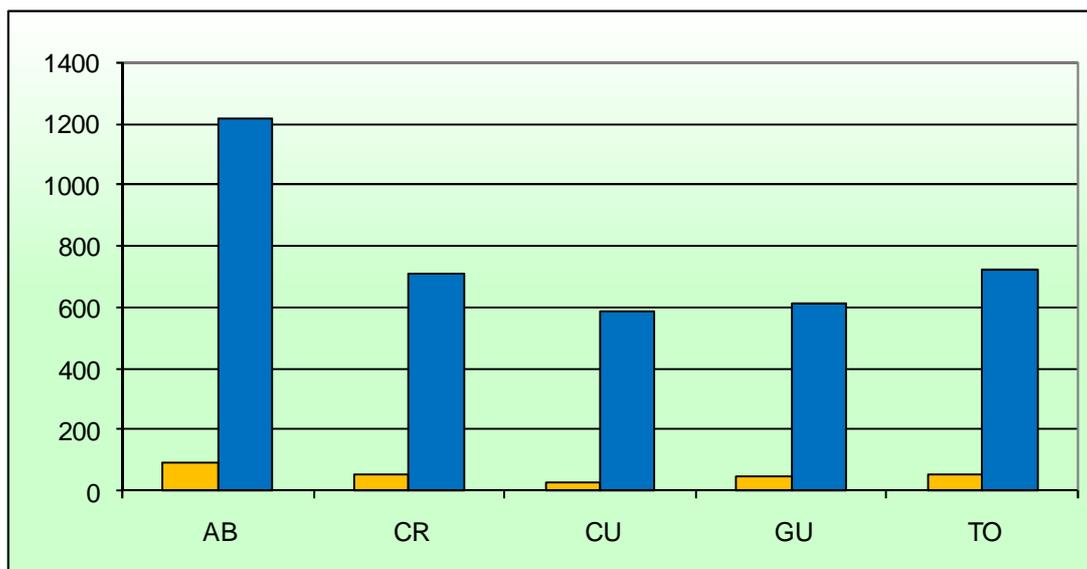


Fig. 4.2. Mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio, según provincia y edad, periodo enero 2000- diciembre 2006; oro: < 65 años; azul: > 65 años.

4.4.2. Sistema Circulatorio

a) H (Índice *Humidex*)

La gráfica que corresponde a la evolución de la mortalidad y del Índice H se representa en la Fig. 4.3.

Tal como se puede apreciar, la mortalidad sigue una tendencia zigzagueante, que alcanza los picos de mayor cuantía en febrero de 2000 (103), marzo de 2001 (110), enero de 2002 (120) y marzo de 2003 (108). Los mínimos más importantes se sitúan en agosto de 2000 (60), septiembre de 2001 (63), junio de 2004 (64) y septiembre de 2004 (63). A pesar de que los valores máximos tienden a concentrarse en los meses de diciembre, enero y febrero, y los mínimos en verano, no puede concluirse una regla de carácter general para todos los meses del año.

En la gráfica del Índice H se aprecia una tendencia mucho más clara. Los máximos se aprecian en julio de 2000 (26,30), agosto de 2000 (25,96), agosto de 2001 (27,94), julio de 2002 (26,03), junio de 2003 (26,81), julio de 2003 (27,25) y agosto de 2004 (27,21). Por otro lado, los menores

valores de dicho Índice se han registrado en enero de 2000 (1,21), diciembre de 2000 (6,35), enero de 2001 (6,23), febrero de 2001 (6,03), diciembre de 2001 (1,33), enero de 2003 (3,63), diciembre de 2003 (5,25) y diciembre de 2004 (4,94).

Gráficamente, se puede observar que los mayores valores de dicho Índice se corresponden generalmente con los menores valores de la mortalidad, y a la inversa. El coeficiente de correlación de Spearman resulta ser $-0,534$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

b) ET (Índice *Effective Temperature*)

La gráfica que corresponde a la evolución de la mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio y del ET está representada en la Fig. 4.4.

Se puede apreciar una tendencia en la evolución del Índice ET parecida a la del H: a menores valores de la mortalidad mayores valores del Índice y a la inversa, pero con unas tendencias mucho más acusadas en el caso del ET. Así, alcanza sus mayores valores para julio de 2000 (21,25), agosto de 2000 (21,10), julio de 2001 (20,73), agosto de 2001 (22,10), julio de 2002 (21,17), junio de 2003 (21,53), julio de 2003 (21,94), agosto de 2003 (22,59), julio de 2004 (21,63) y agosto de 2004 (21,65).

Por otro lado los mínimos se sitúan en enero de 2001 (7,54), diciembre de 2001 (4,18), enero de 2003 (6,02), febrero de 2003 (6,56), diciembre de 2003 (6,71) y diciembre de 2004 (6,78).

El coeficiente de correlación de Spearman es $-0,543$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

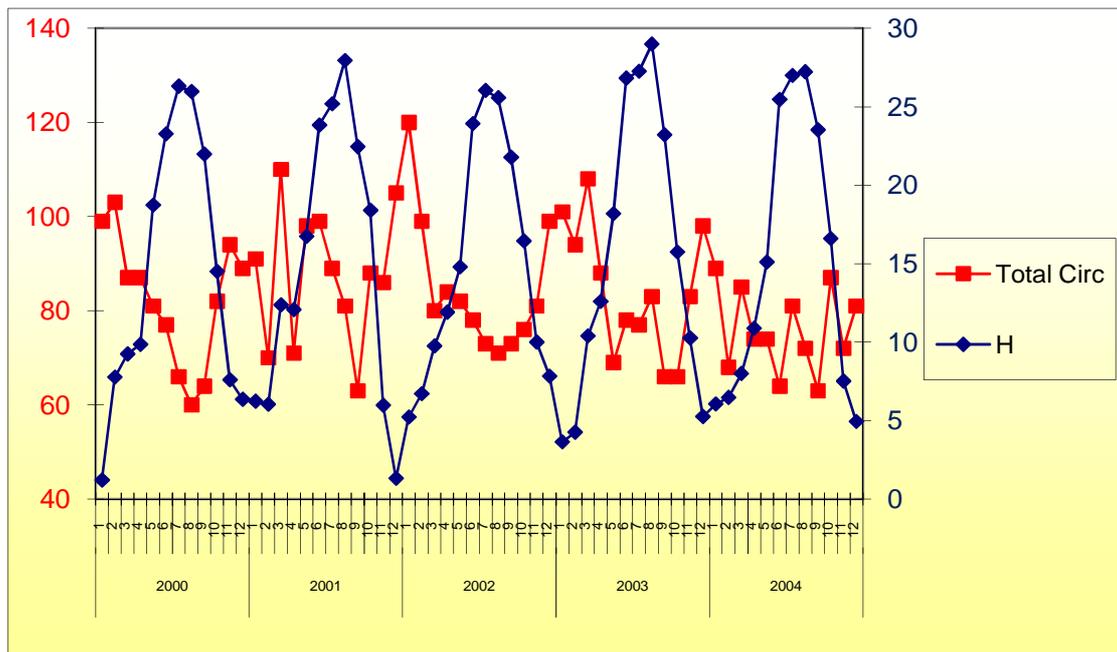


Fig. 4.3. Índice H y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio.

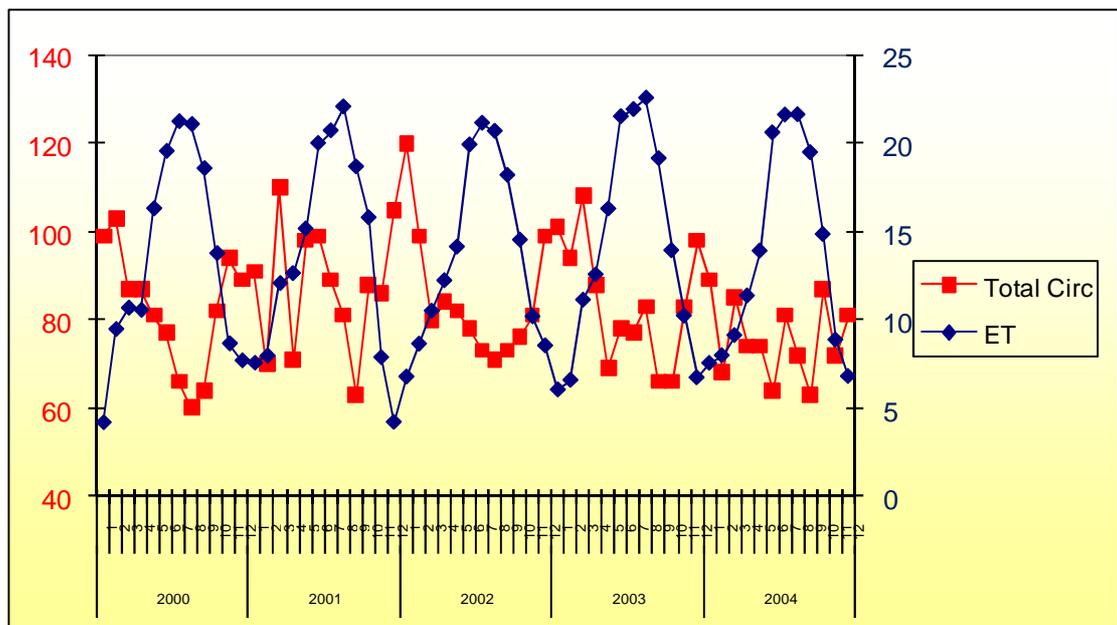


Fig. 4.4. Índice ET y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio.

c) WCI (Índice *Wind Chill Index*)

La gráfica correspondiente a la evolución de la mortalidad con el Índice WCI puede observarse en la Fig. 4.5.

La correlación de este Índice con la mortalidad es positiva, apreciándose en el gráfico una tendencia general en la que a valores crecientes (decrecientes) de la mortalidad corresponden valores crecientes (decrecientes) del WCI. Los valores máximos corresponden a enero de 2001 (571,89), diciembre de 2001 (574,85), enero de 2003 (606,20), diciembre de 2003 (549,96) y diciembre de 2004 (561,10).

A su vez los valores mínimos corresponden a los meses de julio de 2000 (283,22), agosto de 2000 (183,41), agosto de 2001 (154,25), julio de 2002 (184,08), julio de 2003 (151,13), agosto de 2003 (142,17), julio de 2004 (168,24) y agosto de 2004 (172,06).

El coeficiente de correlación Spearman resulta ser 0,525, con significación bilateral ($p < 0,01$).

d) RSI (Índice *Relative Strain Index*)

La gráfica correspondiente es la de la Fig. 4.6.

También en este Índice se aprecia una tendencia de máximos en meses cálidos y mínimos en meses fríos. Así los máximos se sitúan en julio de 2000 (0,10), agosto de 2000 (0,09), agosto de 2001 (0,13), agosto de 2002 (0,10), julio de 2003 (0,13), agosto de 2000 (0,14) y julio de 2004 (0,18).

Los mínimos están en los meses de enero de 2000 (-0,33), diciembre de 2000 (-0,27), enero de 2001 (-0,27), diciembre de 2001 (-0,33), enero de 2003 (-0,30) y diciembre de 2003 (-0,29).

El coeficiente de correlación de Spearman es $-0,540$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

e) WBGT (Índice *Wet Bulb Global Temperature*)

La gráfica correspondiente a este Índice se representa en la Fig. 4.7.

Los valores máximos para este Índice se sitúan en julio de 2000 (22,98), agosto de 2000 (22,77), agosto de 2001 (24,00), julio de 2002 (22,80), agosto de 2002 (22,61), julio de 2003 (23,48), agosto de 2003 (24,66) y agosto de 2004 (23,58).

Por otro lado, los mínimos corresponden a enero de 2000 (8,22), diciembre de 2001 (8,30), enero de 2003 (9,66), diciembre de 2003 (10,66) y diciembre de 2004 (10,47).

El coeficiente de correlación de Spearman tiene un valor de $-0,537$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

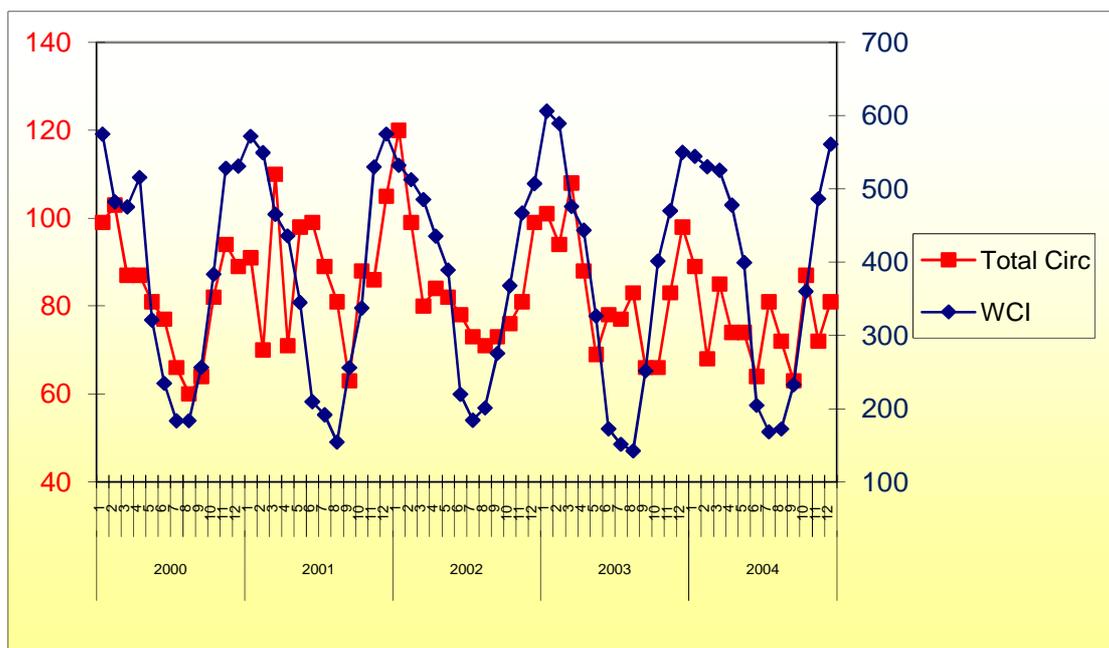


Fig. 4.5. Índice WCI y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio.

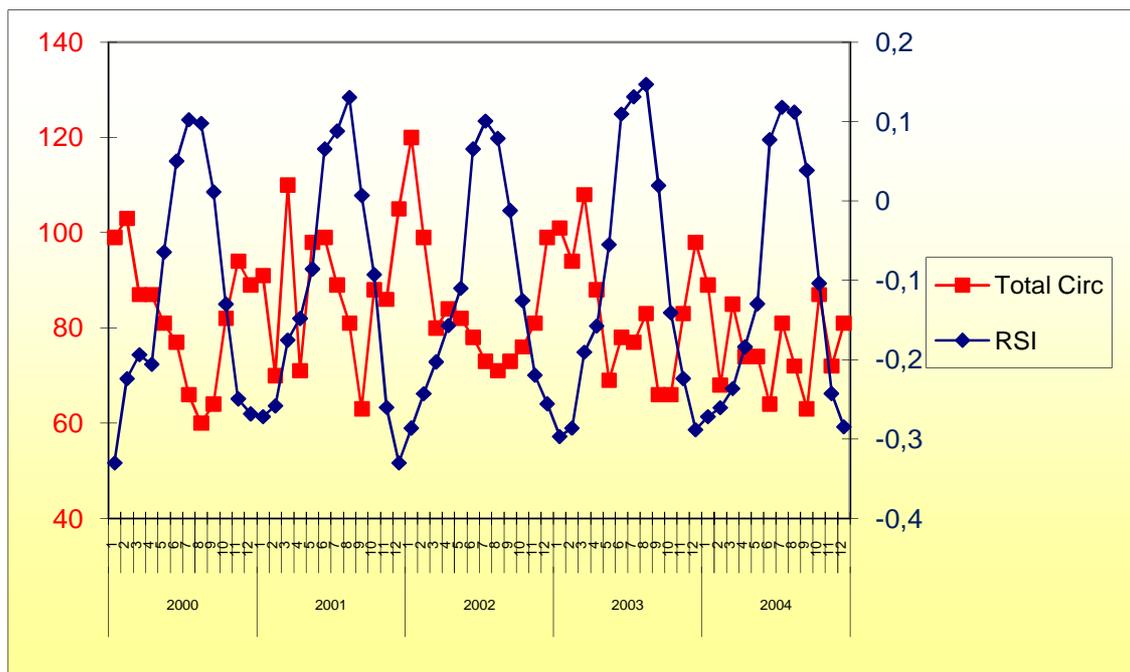


Fig. 4.6. Índice RSI y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio.

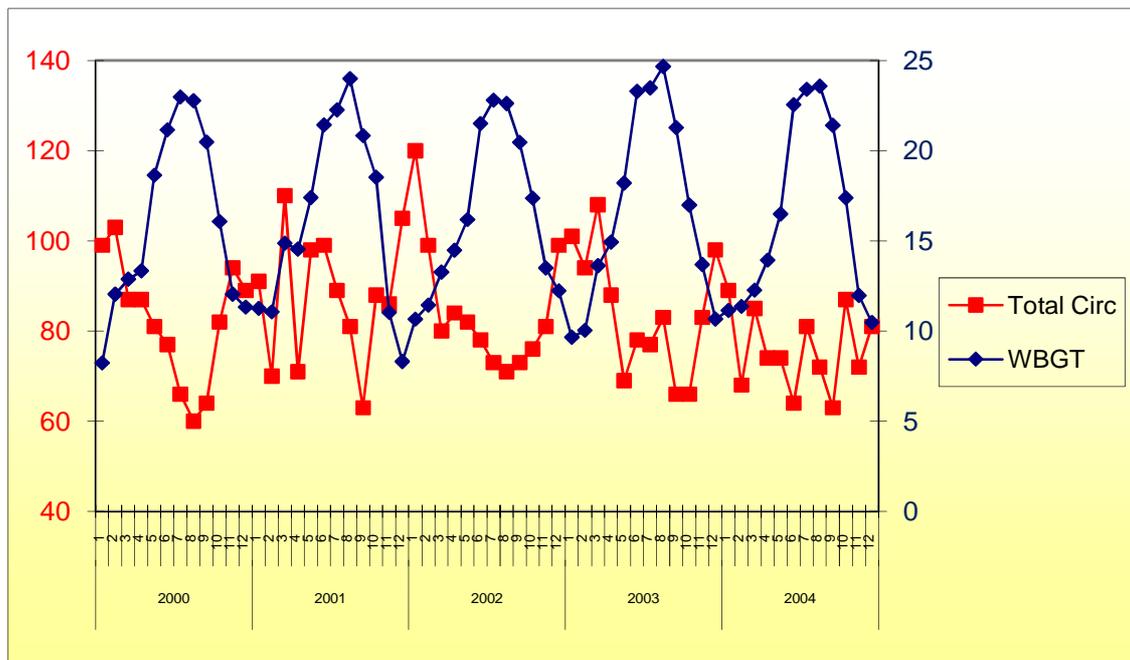


Fig. 4.7. Índice WBG y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio

f) NET (Índice *Net Effective Temperature*)

La gráfica mortalidad-NET está en la Fig. 4.8.

Se puede apreciar en ella que existe en términos generales una tendencia inversa entre ambos parámetros. Los máximos para el NET se sitúan en julio de 2000 (38,63), agosto de 2001 (38,80), julio de 2002 (38,73), julio de 2003 (39,45) y julio de 2004 (38,81).

Los mínimos se sitúan en enero de 2000 (28,31), diciembre de 2000 (30,17), diciembre de 2001 (28,30), enero de 2003 (30,31), diciembre de 2003 (29,79) y diciembre de 2004 (30,09).

El coeficiente de correlación de Spearman es $-0,521$, con correlación significativa bilateral ($p < 0,01$).

g) AT (Índice *Apparent Temperature*)

La gráfica AT-Mortalidad es la de la Fig. 4.9.

Los máximos más importantes del Índice están en julio de 2000 (23,64), agosto de 2001 (25,24), julio de 2002 (23,49), julio de 2003 (24,88), agosto de 2003 (26,10) y agosto de 2004 (24,45).

Por su parte los mínimos de mayor importancia son enero de 2000 (0,70), enero de 2001(4,50), diciembre de 2001 (0,79), enero de 2003 (2,82), diciembre de 2003 (4,00) y diciembre de 2004 (3,77).

El coeficiente de correlación de Spearman para dicho gráfico resulta ser $-0,542$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

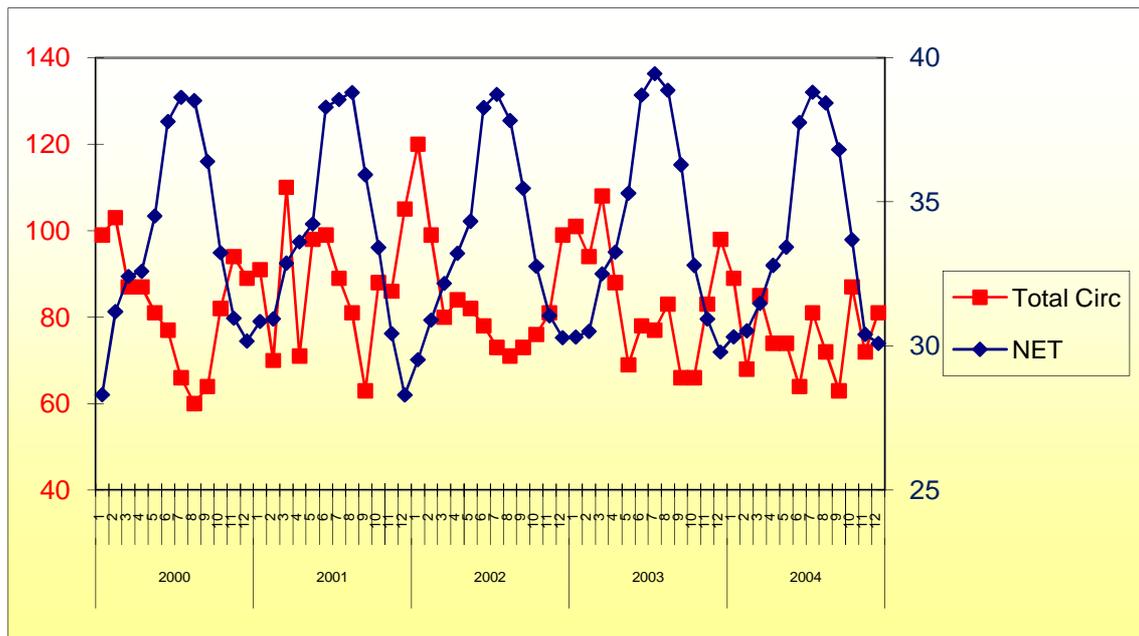


Fig. 4.8. Índice NET y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio.

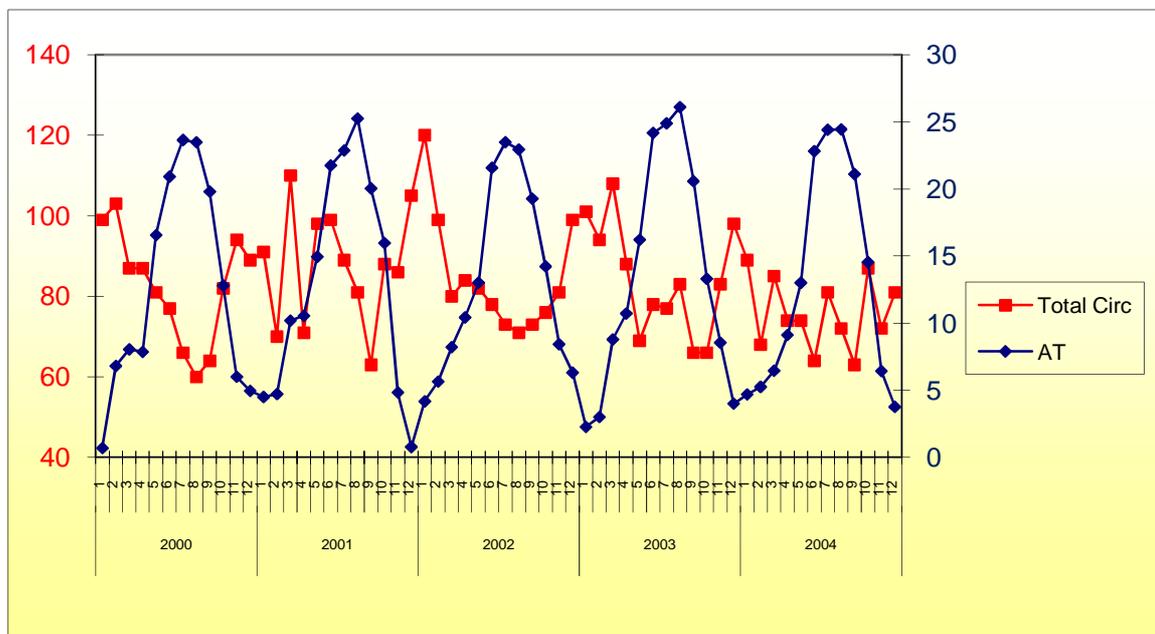


Fig. 4.9. Índice AT y mortalidad total por enfermedades del aparato Circulatorio durante los cinco años de estudio.

4.4.3. Sistema Respiratorio

a) H (Índice *Humidex*)

La gráfica correspondiente es la representada en la Fig. 4.10.

La mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio sigue una tendencia parecida a la del Circulatorio, con máximos en meses invernales, como enero de 2000 (55), enero de 2001 (41), enero de 2002 (60), diciembre de 2003 (59) y diciembre de 2004 (40), así como mínimos en meses cálidos, como junio y julio de 2000 (ambos con 19), julio de 2001 (17), septiembre de 2001 (17) y septiembre de 2002 (19). No refleja, por lo demás, unas pautas claras de comportamiento, como no sea la tendencia al zig-zag en todo su desarrollo.

También se da una correlación inversa entre los valores de la mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio y el Índice H, con un coeficiente de correlación de Spearman de $-0,615$, y significación bilateral ($p < 0,01$).

b) ET (Índice *Effective Temperature*)

La gráfica correspondiente a la relación entre mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio y el Índice ET aparece en la Fig. 4.11.

El coeficiente de correlación de Spearman es $-0,629$, con significación bilateral ($p < 0,01$). Se puede apreciar que, al igual que ocurría con la mortalidad del aparato Circulatorio, los valores del Índice ET tienden a tener unas pautas de crecimiento inversas a las de la mortalidad.

c) WCI (Índice *Wind Chill Index*)

El gráfico comparativo de los valores de la mortalidad en el Respiratorio y el Índice WCI se recoge en la Fig. 4.12.

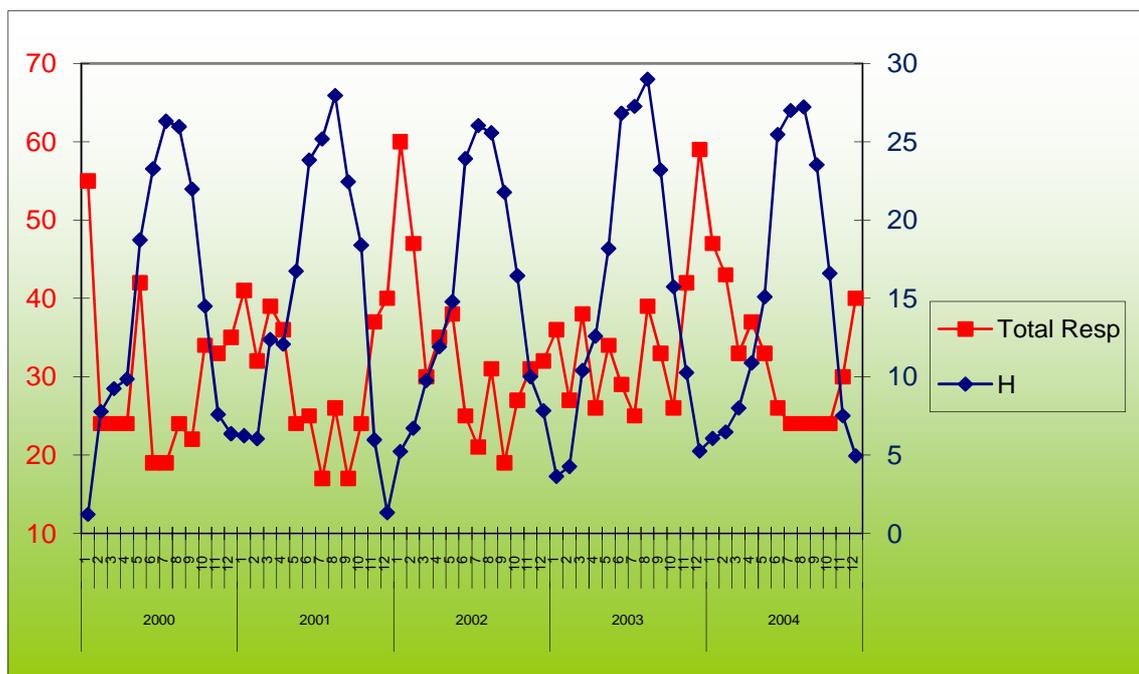


Fig. 4.10. Índice H y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

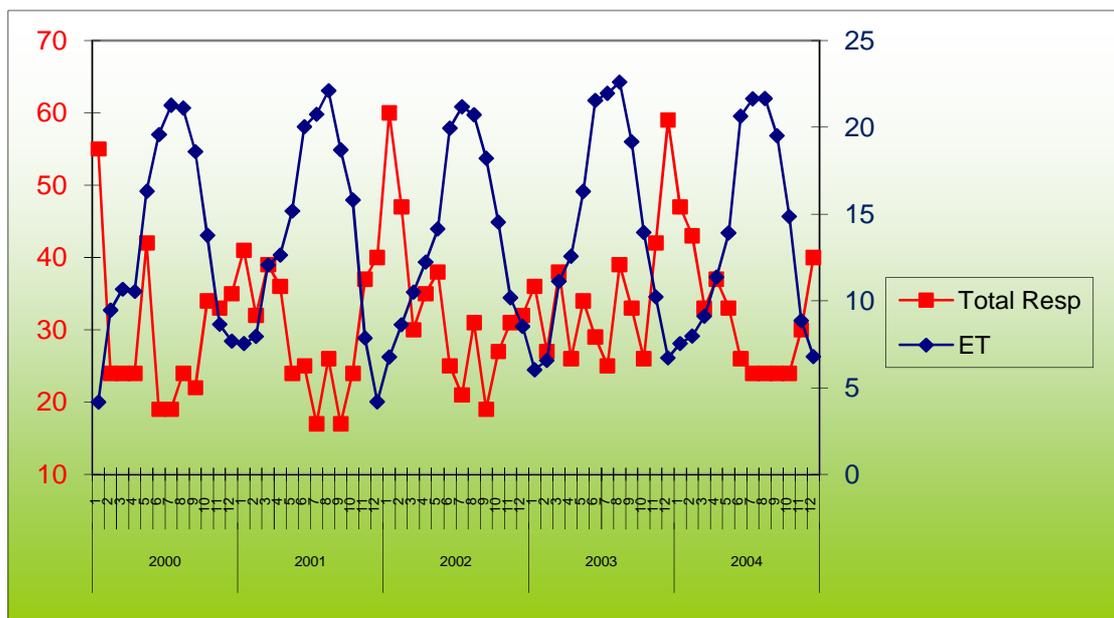


Fig. 4.11. Índice ET y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

El coeficiente de correlación de Spearman es 0,609, con significación bilateral ($p < 0,01$). Como se puede apreciar en la Fig. 4.12, la correlación directa es apreciablemente alta.

d) RSI (Índice *Relative Strain Index*)

La gráfica correspondiente está en la Fig. 4.13.

La correlación inversa en líneas generales es clara, con un coeficiente de correlación de Spearman de $-0,629$, y significación bilateral ($p < 0,01$).

e) WBGT (Índice *Wet Bulb Global Temperature*)

La gráfica correspondiente se representa en la Fig. 4.14.

La correlación es claramente inversa, con un coeficiente de Spearman de $-0,612$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

f) NET (Índice *Net Effective Temperature*)

La gráfica correspondiente se ha representado en la Fig. 4.15.

La correlación es negativa con un coeficiente de Spearman de $-0,629$, y significación bilateral ($p < 0,01$).

g) AT (Índice *Apparent Temperature*)

La gráfica correspondiente es la de la Fig. 4.16.

La correlación es apreciablemente inversa; su coeficiente de Spearman es $-0,619$, con significación bilateral ($p < 0,01$).

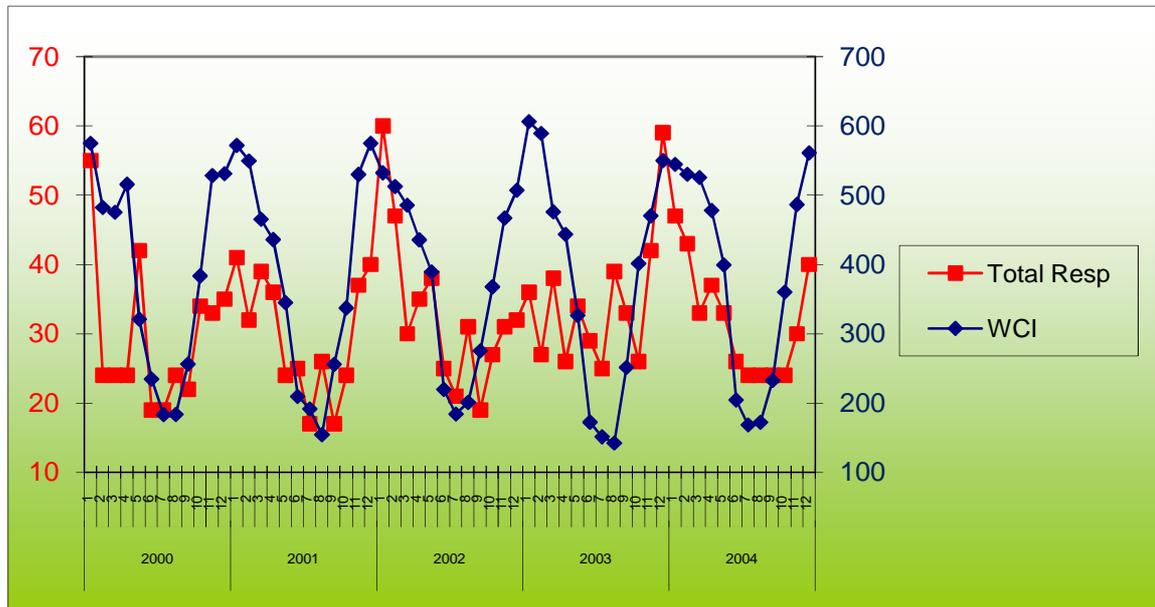


Fig. 4.12. Índice WCI y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

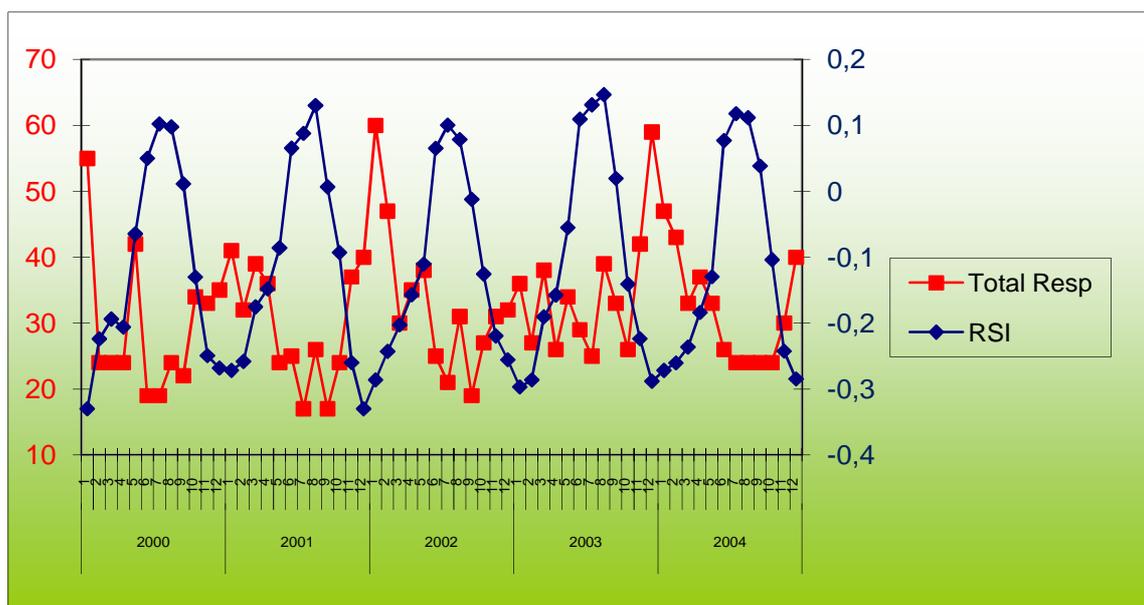


Fig. 4.13. Índice RSI y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

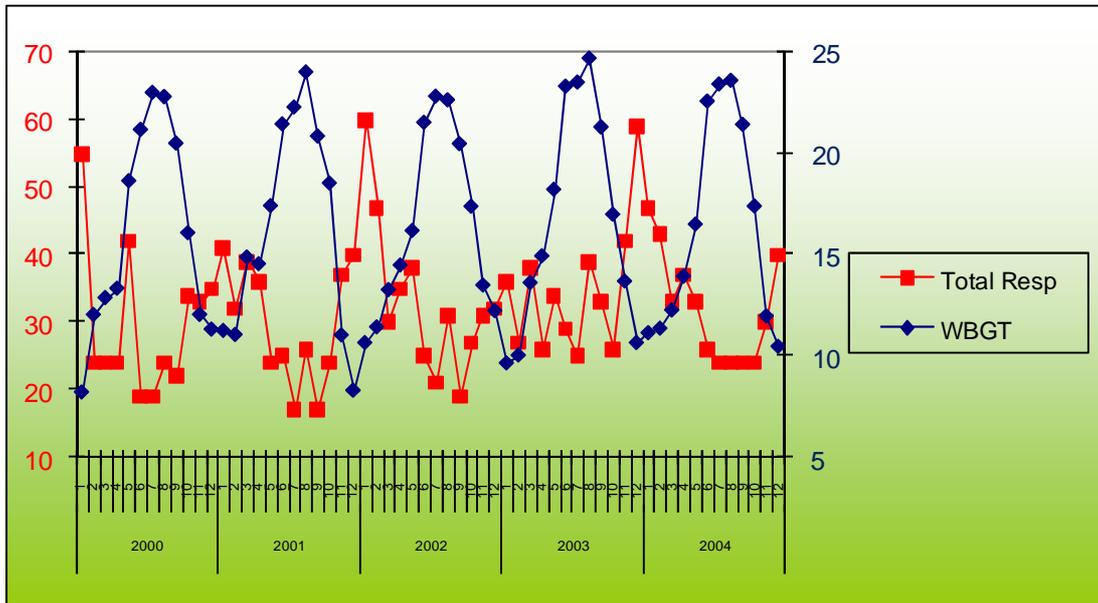


Fig. 4.14. Índice WBGT y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

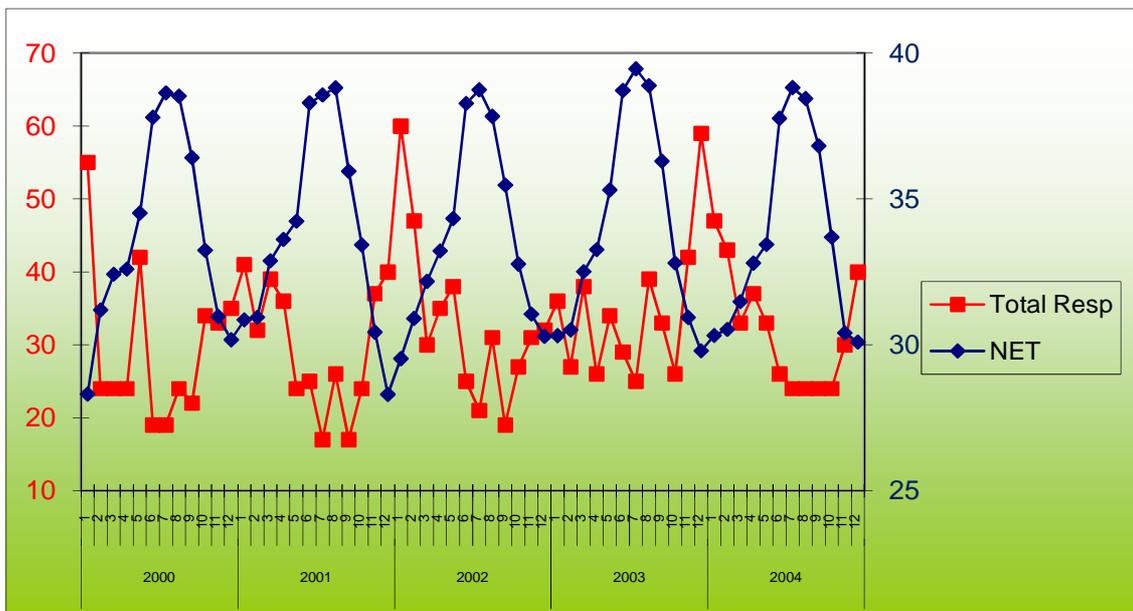


Fig. 4.15. Índice NET y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

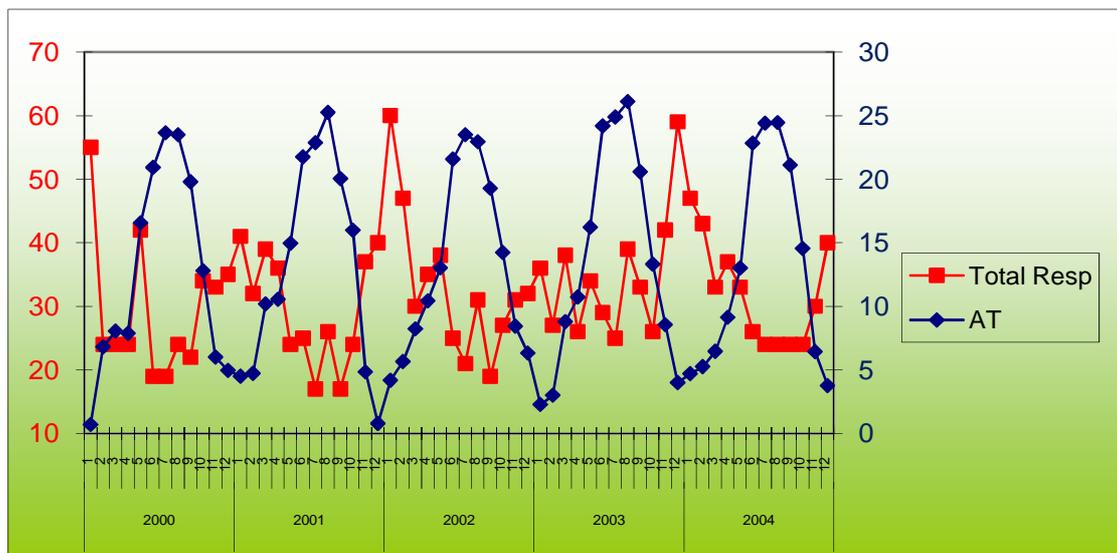


Fig. 4.16. Índice AT y mortalidad total por enfermedades del aparato Respiratorio durante los cinco años de estudio.

4.5. DISCUSIÓN

Los datos de mortalidad, tanto por enfermedades del aparato Circulatorio como del aparato Respiratorio, muestran que septiembre es el mes de menor mortalidad, lo que confirma lo ya expuesto por Falagas et al. (2009): que septiembre es el mes con el menor número de fallecimientos —por todo tipo de causas— en los países mediterráneos. Tales autores aportan datos de otros países en los que la mortalidad es mínima en agosto, como es el caso de Estados Unidos y Suecia, por lo que concluyen que el número de muertes disminuye, por lo general, en el periodo final de verano—comienzo de otoño.

En los resultados anteriores puede observarse que los valores extremos máximos de los Índices se acumulan en meses cálidos, como julio y agosto, y los valores extremos mínimos en los fríos, como es el caso de diciembre y enero. La excepción viene dada por el WCI, que alcanza sus

máximos en meses de frío y sus mínimos en meses como julio y agosto. Esta tendencia persiste a lo largo de los años a los que corresponde el presente estudio.

Asimismo se aprecia una regularidad en la forma de los gráficos a lo largo de los años, salvo una ligera tendencia al alza en los tres últimos mínimos relativos del H y el ET.

La incidencia de la ola de calor en la mortalidad en Castilla-La Mancha durante el verano de 2003 no da resultados apreciablemente llamativos, confirmando lo que ya ha sido puesto de relieve por Díaz et al. (2006). El número de días extremadamente calurosos en las capitales de provincia manchegas fue bastante menor que en otras zonas de la península, manteniéndose la mortalidad en unos límites normales.

Cada Índice tiene unas características propias en sus pautas de evolución a lo largo de los años del estudio realizado. Así, el Índice H proporciona unas diferencias notables entre sus máximos y mínimos, con curvas muy apuntadas y bien pronunciadas. También lo hace el ET, pero con diferencias máximo-mínimo de menor cuantía. En cuanto al WCI, se aprecian asimismo diferencias altas entre valores extremos relativos, aunque no tanto como en otros Índices. Sin embargo el WBGT no presenta tantas diferencias, en tanto que el NET produce una curva con aspecto sinusoidal, con variaciones estacionales sensiblemente menores a las de los otros Índices, y tendencia bien marcada. Por su parte el AT da una curva muy apuntada y grandes diferencias máximo-mínimo.

Las correlaciones son inversas en todos los casos salvo en el WCI, y de parecido valor absoluto para todos los Índices respecto a la mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio por un lado, y a la del Respiratorio por otro. Son asimismo significativas todas al 0,01. En el

aparato Circulatorio la del ET y la del AT son prácticamente iguales y en el caso del Respiratorio la del ET es idéntica a la del NET.

No obstante, se aprecia una diferencia entre las correlaciones del Sistema Circulatorio y las del Respiratorio que podríamos cuantificar aproximativamente en una décima, ya que en el primero sus valores absolutos se sitúan en un rango de 0,521 a 0,543, y en el segundo van de 0,609 a 0,629. Podrían estos resultados sugerir una mayor dependencia de la mortalidad en enfermedades respiratorias de factores como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en relación a la existente en patologías del aparato Circulatorio respecto de los mismos factores, pero serían necesarios más análisis en este sentido.

Los resultados obtenidos confirman lo analizado por Leung et al. (2008), para quienes las mayores cifras de fallecimientos por ataque cardíaco en Hong Kong se dieron con valores del NET muy bajos.

Asimismo, los resultados concuerdan con las conclusiones de Li y Chan (2000), para quienes el mes de julio fue el de mayor número de fallecimientos de los del verano en Hong Kong, por sus altos valores de temperatura y humedad.

También se puede añadir que el Índice RSI guarda relación en los valores obtenidos con las conclusiones a las que llegan De Garín y Bejarán (2003) en un estudio sobre dicho Índice y su relación con fallecimientos por enfermedades de los aparatos Circulatorio y Respiratorio en Buenos Aires. Para estos investigadores la mínima mortalidad se registra en el intervalo 0,00-0,10, en tanto que, con los datos de Castilla-La Mancha del presente trabajo se sitúa en 0,09-0,15. Los valores de la mortalidad aumentan notablemente en la Comunidad Autónoma estudiada, con valores negativos del RSI, tal como sucede también en Buenos Aires.

De entre todos los Índices utilizados hay dos (Wind Chill Index y Humidex) que son los más empleados y sobre los que existe una mayor bibliografía. Se confirma en el presente estudio que ambos reflejan de manera adecuada las variaciones climáticas de cada estación. Este hecho ya ha sido puesto de manifiesto por diversos autores como Shitzer (2006), quien subrayó que el WCI es un instrumento sencillo para evaluar los efectos térmicos del viento en los seres humanos en espacios abiertos. Cabría añadir también que el Índice NET da resultados de fuerte periodicidad.

En el caso del WCI, contrariamente a lo que sucede con el resto, la correlación es positiva. Se podría atribuir este hecho a que, en la expresión del Índice, se encuentra la temperatura afectada por el signo negativo, por lo que disminuirá el valor del WCI en los meses cálidos y aumentará en los fríos.

La investigación de las variaciones de la mortalidad con las variables atmosféricas adquiere particular relevancia en el contexto del calentamiento global, algo que ya ha sido estudiado por diversos autores (Karl et al., 1995; Easterling et al., 2000; Houghton et al., 2001). En el caso que nos ocupa, las características de la Comunidad de Castilla-La Mancha no parecen indicar un aumento particular de la mortalidad a lo largo de los años de estudio.

Los contaminantes proporcionados como datos en el trabajo no fueron causa de variaciones significativas en la mortalidad, tanto para el Circulatorio como para el Respiratorio. Las concentraciones de dichos contaminantes en las ciudades consideradas pueden calificarse de bajas en comparación con las proporcionadas por estudios sobre grandes urbes (Junk et al., 2003; O'Neill et al., 2005). En este sentido cabe destacar que la

presencia de ozono se ha asociado con la mortalidad en diversas regiones (Thurston e Ito, 2001). Las muy distintas condiciones de contaminación según áreas aconsejan una especial prudencia a la hora de considerar este punto. Por todo ello, el estudio de la relación entre los contaminantes y las variables meteorológicas con la mortalidad por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio se aborda en un capítulo posterior (el 5), y con un planteamiento distinto (Análisis de Componentes Principales).

4.6. MORTALIDAD Y TIPOS DE TIEMPO: SECUENCIAS DE MAYOR INCIDENCIA

Se pretende en este apartado estudiar las secuencias de tipos de tiempo que han tenido lugar en los días de mayor mortalidad, y en los días inmediatamente anteriores.

Con este fin, se ha partido de los datos de mortalidad por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio en toda la Comunidad que se han empleado en el presente capítulo. Tras ordenar los datos, se han seleccionado los 9 días de mayor mortalidad en el caso de enfermedades del aparato Circulatorio, y los 10 días de mayor mortalidad, en el caso de enfermedades del aparato Respiratorio. Seguidamente se han estudiado los tipos de tiempo, tanto para dichos días como para los cuatro anteriores.

La investigación, necesariamente por su reducida extensión, es meramente cualitativa. Se pretende exclusivamente dar una idea aproximada de la influencia de la evolución de los tipos de tiempo en la mortalidad de una región determinada.

Los resultados se expresan en dos Tablas, una para cada sistema estudiado, y en las que, en cada fila, se expresan el número de decesos, el

día correspondiente, y los tipos de tiempo de dicho día (TT d0), del día anterior (TT d-1), de dos días antes (TT d-2), de tres días antes (TT d-3) y de cuatro días antes (TT d-4).

Para la mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio los resultados se han recogido en la Tabla 4.3.

Cabe reseñar en primer lugar que, de los 9 días seleccionados, solo 3 pertenecen al periodo cálido, concentrándose los otros 6 en el periodo frío. Sólo el último puede asociarse a los días de la ola de calor de 2003. Esta escasa relación con un fenómeno de tanta repercusión puede interpretarse en términos de una mayor adaptación de la población a tales variaciones de temperatura que la debida a poblaciones de climas más suaves.

Se puede apreciar coincidencia en los tipos de tiempo en el d0 y d-1 en varios casos, en los que los tipos de tiempo resultan ser el SW, el N, el HASW, el HAW, el A y el HANE. Esta coincidencia se amplía al d-2 en el caso de los tipos SW, N y HASW.

Además, en el caso de 24.03.2001, el tipo SW registra una secuencia de cinco días consecutivos. En cuanto al N, se observan dos secuencias de tres días consecutivos: d0, d-1 y d-2 para el 02.05.2001, y d-2, d-3 y d-4 para el 26.06.2001. Asimismo el HASW da una secuencia de cuatro días consecutivos: d0, d-1, d-2 y d-3 para el 12.12.2000.

Como se puede apreciar, se da una tendencia clara a la persistencia de situaciones, como es el caso de los días 24.03.2001 y 12.12.2000, así como en el resto de los días, si bien de forma no tan acusada. En todos los casos hay repetición de tipos de tiempo en días consecutivos, como los SW y N. Se podría concluir que los días de máxima mortalidad se producen, en casi

todos los casos, después de secuencias de dos días, como mínimo, de tipos de tiempo como N, SW, HASW, HAW y A.

Llama la atención el hecho de que, a pesar de aparecer en ocho ocasiones (20% del total) en la Tabla 4.3., el tipo de tiempo SW solamente aparece 97 días en el cómputo total del periodo Frío, en tanto que para el A aparecen 372 días (Tabla 3.3). Así pues, el SW es un tipo de tiempo no muy frecuente, pero con una importante incidencia en la mortalidad.

De entre las diversas hipótesis que se han sugerido para explicar la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en meses fríos, parece ser que el incremento de la tensión arterial y el aumento de la agregación plasmática son los dos mecanismos de mayor relevancia (Eldwood et al., 1993).

Sin embargo, los días con SW se caracterizan, durante el periodo Frío, por haber registrado las temperaturas más altas del mismo. Por otro lado, durante el periodo Cálido, los días de tipo N se caracterizan por registrar presiones más bien bajas. Se podría conjeturar, a manera de explicación, que los cambios bruscos de parámetros meteorológicos dentro de un periodo térmico originarían alteraciones en los ritmos biológicos, causa, a su vez, de los incrementos de morbilidad y mortalidad.

Para las enfermedades del aparato Respiratorio los resultados han sido los que figuran en la Tabla 4.4.

De los 10 días seleccionados todos menos uno pertenecen al periodo invernal del año.

También en la Tabla 4.4 vuelven a aparecer tipos de tiempo que se habían incluido en la Tabla 4.3, además de otros nuevos. Así, se repiten los

HANE, N, NE, E, SW, W, C, A, HAN, HASW, HAW y HANW que ya aparecieron en el Circulatorio. Pero, además, son nuevos: SE, S, NW, HCN, HCNE, HCSE, HCSW y HASE.

Se registran secuencias del mismo tipo de tiempo en los días d0 y d-1, como es el caso de los tipos HAW, E y A. En el caso del A, llega a aparecer en la secuencia completa de los cuatro días anteriores al 12.02.2002, y en ese mismo día.

De los tipos de tiempo que aparecen, merece destacarse que los días con A registran altos valores de presión durante el periodo invernal, y los días con E registran bajos valores de temperatura y presión (Tabla 3.17). Este resultado parece confirmar el que ciertas enfermedades respiratorias como la neumonía y la obstrucción pulmonar crónica presenten una incidencia más alta durante los meses fríos (Kilbourne, 1992; Kunst et al., 1993). Tales resultados son consistentes con otras investigaciones en Europa. Así, Mäkinen et al. (2009) han encontrado una asociación significativa entre temperaturas frías acompañadas de baja humedad e incrementos en infecciones del tracto respiratorio en Finlandia.

Si se comparan los resultados obtenidos para la incidencia de tipos de tiempo por patologías de ambos sistemas, se aprecia que el rango de mortalidad máxima es menor en el Respiratorio (5-6) que en el Circulatorio (8-9).

Aparecen 12 tipos de tiempo diferentes en el Circulatorio y 20 en el Respiratorio, incluyendo estos a los del Circulatorio, lo que refleja una mayor variedad de causas, aunque con menor mortalidad.

En ambos sistemas tiene lugar la persistencia de días d0 y d-1, aunque es menor en Respiratorio.

Tabla 4.3. Tipos de tiempo que corresponden a los días de mayor número total de muertes, con desfases de 0, 1, 2, 3 y 4 días, por enfermedades del aparato Circulatorio durante el periodo de estudio.

Total muertes	Día	TT d0	TT d-1	TT d-2	TT d-3	TT d-4
9	24.03.2001	SW	SW	SW	SW	SW
9	02.05.2001	N	N	N	A	HAN
9	26.06.2001	N	NE	N	N	N
8	04.11.2000	HAW	HANW	W	HAW	HANW
8	12.12.2000	HASW	HASW	HASW	HASW	W
8	11.03.2001	HAW	HAW	W	SW	SW
8	06.02.2002	HAW	HASW	W	SW	HASW
8	24.01.2003	A	A	W	W	W
8	06.08.2003	HANE	HANE	C	C	E

Tabla 4.4: Tipos de tiempo que corresponden a los días de mayor número total de muertes, con desfases de 0, 1, 2, 3 y 4 días, por enfermedades del aparato Respiratorio durante el periodo de estudio.

Total muertes	Día	TT d0	TT d-1	TT d-2	TT d-3	TT d-4
6	06.01.2002	SE	S	W	HCSW	S
6	28.02.2002	HAW	HAW	A	A	A
5	20.01.2000	E	E	SE	SE	HCSE
5	01.04.2000	S	A	HCNE	HCNE	NE
5	14.01.2001	N	HCN	C	HCSW	SW
5	31.01.2001	A	A	NW	W	W
5	08.01.2002	SE	HASE	SE	S	W
5	12.02.2002	A	A	A	A	A
5	29.12.2002	HASW	A	W	SW	SW
5	22.12.2004	HANE	NE	HAN	HANW	A

4.7. CONCLUSIONES

Los valores de la mortalidad por enfermedades de los aparatos Circulatorio y Respiratorio alcanzan generalmente sus máximos en meses invernales y sus mínimos en meses templados, al igual que en otras regiones de Europa. Así, enero de 2002 registra el máximo número de defunciones por patologías del aparato Circulatorio (120) y del Respiratorio (60). Los mínimos se situaron en agosto de 2000 (60) para enfermedades del Circulatorio, y en julio y septiembre de 2000 (ambos con 17) para defunciones por enfermedades respiratorias. Los días en los que se produce el mayor número de defunciones de todo el periodo se sitúan en meses fríos, como son marzo (Circulatorio) y enero (Respiratorio).

A pesar de que los Índices estudiados fueron creados en contextos y con finalidades no siempre idénticas, los resultados obtenidos son bastante parecidos en cuanto a su correlación con los datos de mortalidad, tanto por fallos del aparato Circulatorio (entre 0,521 y 0,543, en valor absoluto) como del Respiratorio (entre 0,609 y 0,629, en valor absoluto). En todos los casos las correlaciones fueron significativas bilateralmente ($p < 0,01$). Las expresiones analíticas de los Índices son bastante diferentes, aun cuando todos incluyan la temperatura en su fórmula. Sin embargo el Índice H no incluye la velocidad del viento, ni tampoco lo hace WBGT ni RSI. Todo parece indicar que la temperatura podría ser un factor determinante de la importancia de los Índices en mayor proporción que otros.

Cabría preguntarse cuál de los Índices empleados podría ser el más útil a la hora de proporcionar una información de interés para las autoridades sanitarias. Atendiendo exclusivamente a los valores de las correlaciones Índice-mortalidad, habría que decantarse por los ET, RSI y AT para mortalidad por patologías del sistema Circulatorio, cuyos factores

de correlación en valor absoluto son 0,543, 0,540 y 0,542 respectivamente, si bien las diferencias con los otros Índices son muy pequeñas.

En el caso de mortalidad por enfermedades del sistema Respiratorio los Índices con mayor factor de correlación registrado son ET, RSI y NET, con valor 0,629 en los tres casos, y diferencias muy pequeñas con respecto a los restantes Índices.

Todo lo anterior parece indicar que, aunque la temperatura entre en las formulaciones de muy distintas maneras, sin embargo los resultados son bastante similares en cuanto a su fiabilidad.

Los días de mayor incidencia de la mortalidad se concentran en época fría: 6 de 9 para enfermedades del aparato Circulatorio, y 9 de 10 para enfermedades del Respiratorio.

En cuanto a los días de mayor incidencia de la mortalidad por patologías del sistema Circulatorio, puede concluirse que en todos los casos hay repetición de tipos de tiempo en días consecutivos, como los SW (una secuencia de cinco días consecutivos), N (dos secuencias de tres días consecutivos) y HASW (una secuencia de cuatro días consecutivos). Las secuencias de dos días, como mínimo, de tipos de tiempo como N, SW, HASW, HAW y A, son las que dan la mayoría de los días de máxima mortalidad aquí estudiados. En particular, el SW adquiere particular relevancia en este estudio, ya que solamente aparece 97 días en el cómputo total del periodo frío, lo que equivale a un 7,6%, en tanto que aparece un 20% del total de días de máxima mortalidad.

Las alternancias más importantes son no direccional-híbrido anticiclónico o direccional-híbrido anticiclónico. Las situaciones más frecuentes resultaron ser N, SW, HASW, HAW y A.

Los días de mayor número de defunciones por enfermedades del aparato Respiratorio corresponden a los tipos HANE, N, NE, E, SW, W, C, A, HAN, HASW, HAW y HANW que ya aparecieron en el Circulatorio. Pero además son nuevos: SE, S, NW, HCN, HCNE, HCSE, HCSW, y HASE.

Al igual que sucede con enfermedades del sistema Circulatorio, se aprecian para las del Respiratorio secuencias del mismo tipo en los días anteriores, siendo la más representativa la de cinco días consecutivos que registra el tipo A.

De todo lo anterior se puede deducir que los Índices meteorológicos y los tipos de tiempo pueden convertirse en un instrumento útil para el estudio de la relación entre el clima y la salud, debido al comportamiento sinérgico de la atmósfera.

4.8. BIBLIOGRAFÍA

- Borrell, C., Mari-Dell'Olmo, M., Rodríguez-Sanz, M., García-Olalla, P., Cayla, J.A., Benach, J., Muntaner, C., 2006. Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona. *Eur. J. Epidemiol.* **21**, 633–640. doi: 10.1007/s10654-006-9047-4.
- Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G., Matthies, F., Shoukri, M., Menne, B., 2007. Prognostic factors in heat wave-related deaths. *Arch. Intern. Med.* **167**, E1–E7. doi:10.1001/archinte.167.20.ira70009.
- Brandenburg, C., Matzarakis, A., Arnberger, A., 2007. Weather and cycling a first approach to the effects of weather conditions on cycling. *Meteorological Applications* **14**, 61–67.
- Cannavos G. Probabilidad y Estadística. Aplicación y métodos. 1995. Ed. McGraw-Hill.
- Carson, C., Hajat, S., Armstrong, B., Wilkinson, P., 2006. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century. *Am. J. Epidemiol.* **164**, 77–84. doi:10.1093/aje/kwj147.

-
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C., Perini, L., 2005. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heatwave in Italy. *Environmental Research* **98**, 390–399.
- Davis, R.E., Knappenberger, P.C., Novicoff, W.M., Michaels, P.J., 2003. Decadal changes in summer mortality in U.S. cities. *Int. J. Biometeorol.* **47**, 166–175.
- Díaz, J., García-Herrera, R., Trigo, R., Linares, C., Valente, M., De Miguel, J., Hernández, E., 2006. The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *International Journal of Biometeorology* **50**, 159–166.
- Donaldson, G.C., Keatinge, W.R., Nayha, S., 2003. Changes in summer temperature and heat-related mortality since 1971 in North Carolina, South Finland, and Southeast England. *Environ. Res.* **91**, 1–7. doi:10.1016/S0013-9351(02)00002-6.
- Eldwood, P.C., Beswick, A., O'Brien, J.R., Renaud, S., Fifield, R., Limb, E.S., et al. 1993. Temperature and risk factors for ischaemic heart disease in the Caerphilly prospective study. *Br. Heart J.* **70** (6), 520-523.
- Easterling, D., Meehl, G., Parmesan, C., Changnon, S., Karl, T., Mearns, L., 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science.* **289**, 2068–2074.
- Falagas, M., Karageorgopoulos, D., Moraitis, L., Vouloumanou, E., Roussos, N., Peppas, G., Rafailidis, P., 2009. Seasonality of mortality: the September phenomenon in Mediterranean countries. *MSc CMAJ* **181**.
- Fanger, P., 1970. *Thermal Comfort*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Garín, A., Bejarán, R., 2003. Mortality rate and relative strain index in Buenos Aires city. *International Journal of Biometeorology* **48**, 31–36.
- Giles, B., Balafoutis, C., Maheras, P., 1990. Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology* **34**, 98–104.
- González, S., Díaz, J., Pajares, M.S., Alberdi, J.C., Otero, A., López, C., 2001. Relationship between atmospheric pressure and mortality in the Madrid Autonomous Region: a time-series study. *Int. J. Biometeorol.* **45**, 34–40.
- Guntzel, O., Bollag, U., Helfenstein, U., 1996. Asthma and exacerbation of chronic bronchitis: sentinel and environmental data in a time series analysis. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed.* **198**, 383–393.
- Harlan, S.L., Brazel, A.J., Prashad, L., Stefanov, W.L., Larsen, L., 2006. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Soc. Sci. Med.* **63**, 2847–2863. doi:10.1016/j.socscimed.2006.07.030.
- Henschel, G., 1987. A human biometeorology classification of climate for large and local scales. In Proc. WMO/HMO/UNEP *Symposium on Climate and Human Health*, Leningrad 1986, Vol I, WCPA-No. 1, WMO.

-
- Gonçalves, F., Braun, S., Silva Dias, P.L., Sharovsky, P., 2007. Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of Sao Paulo. *Environmental Research* **104**, 275–281.
- Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., van der Linden, P., Xiaosu, D., 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK.
- Junk, J., Helbig, A., Luers, J., 2003. Urban climate and air quality in Trier Germany. *International Journal of Biometeorology*. **47**, 230–238.
- Haidong, K., London, S.J., Chen, H., Song, G., Chen, G., Jiang, L., Zhao, N., Zhang, Y., Chen, B., 2007. Diurnal temperature range and daily mortality in Shanghai, China. *Environmental Research* **103**, 424–431.
- Karl, T., Knight, R., Plummer, N., 1995. Trends in high- frequency climate variability in twentieth Century. *Nature* **377**, 217–220.
- Kovats, R.S., Hajat, S., 2008. Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public. Health* **29**, 41–55. doi: 10.1146/annurev. pubhealth.29.020907.090843.
- Laaidi, M., Laaidi, K., Besancenot, J.P., 2006. Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *Int. J. Biometeorol.* **51**, 145–153.
- Lally, V., Watson, B., 1960. Humiture revisited. *Weatherwise* **13**, 254–256.
- Lee, D., Henschel, A., 1966. Effects on physiological and clinical factors on response to heat. *Ann. NY Acad Sci.* **134**, 743–749.
- Leung, Y., Yip, K., Yeung, K., 2008. Relationship between thermal index and mortality in Hong Kong. *Meteorological Applications* **15**, 399–409.
- Li, P., Chan, S., 2000. Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. *Meteorological Applications* **7**, 369–375.
- Longhurst, J., 2005. 1 to 100: Creating an air quality index in Pittsburgh. *Environmental Monitoring and Assesment* **106**, 27–42.
- Makinen, T., Juvonen, R., Jokelainen, J., Harju, T., Peitso, A., Bloigu, A., Silvennoinen-Kassinen, S., Leinonen, M., Hassi, J., 2009. Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respiratory Medicine* **103**, 456–462.
- Martens, P., 1998. Health and Climate Change-Modelling the impacts of Global Warming and Ozone Depletion. Earthscan: London, 173.
- Masterton, J., Richardson, F., 1979. *Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity*. Atmospheric Environment Service, Donsview, Ontario, CLI, 1–79.

-
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M., 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* **43**, 76–84.
- Hiroshi, N., Matsuno, A., Teraoka, A., 2008. Prediction of the incidence of spontaneous intracerebral hemorrhage from meteorological data. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 323–329.
- Nakaji, S., Parodi, S., Fontana, V., Umeda, T., Suzuki, K., Sakamoto, J., Fukuda, S., Wada, S., Sugawara, K., 2004. Seasonal changes in mortality rates from main causes of death in Japan (1970–1999). *Eur. J. Epidemiol.* **19** (10), 905–913.
- Ohwaki, K., Yano, E., Murakami, H., Nagashima, H., Nakagomi, T., 2004. Meteorological factors and the onset of hypertensive intracerebral hemorrhage. *Int. J. Biometeorol.* **49** (2), 86–90.
- O'Neill, M., Hajat, S., Zanobetti, A., Ramírez-Aguilar, M., Schwartz, J., 2005. Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality. *International Journal of Biometeorology* **50**, 121–129.
- Ono, H., Kawamura, T., 1991. Sensible climates in monsoon Asia. *International Journal of Biometeorology* **35**, 39–47.
- Passero, S., Reale, F., Ciacci, G., Zei, E., 2000. Differing temporal patterns of onset in subgroups of patients with intracerebral hemorrhage. *Stroke* **31** (7), 1538–1544.
- Pirard, P., Vandentorren, S., Pascal, M., Laiidi, K., Le Tertre, A., Cassadou, S., Ledrans, M., 2005. Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. *EuroSurveillance* **10**, 153–156.
- Schaanning, J., Finsen, H., Lereim, I., Saeterhaug, A., 1986. Effects of cold air inhalation combined with prolonged sub-maximal exercise on airway function in healthy young males. *European Journal of Respiratory Diseases* **68**, 74–77.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A., Appenzeller, C., 2004. Variability in European summer heat waves. *Nature* **427**, 332–336. doi: 10.1038/nature02300.
- Sheridan, S.Æ., Adam, J., Kalkstein, Æ., Laurence, S., Kalkstein., 2009. Trends in heat-related mortality in the United States, 1975–2004. *Nat Hazards* **50**, 145–160. doi: 10.1007/s11069-008-9327-2.
- Shitzer, A., 2006. Wind-chill- equivalent temperatures: regarding the impact due to the variability of the environmental convective heat transfer coefficient. *International Journal of Biometeorology* **50**, 224–232.
- Siple, P., Passel, C., 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proc. Am. Philos. Soc.* **89**, 177–199.
- Steadman, R.G., 1994. Norms of apparent temperature in Australia. *Aust. Met. Mag.* **43**, 1–16.

-
- Thurston, G., Ito, K., 2001. Epidemiological studies of acute ozone exposures and mortality. *J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.* **11**, 286–294.
- Tremblay, M., 2003. *Wind Chill and Humidex*. En www.ptaff.ca
- Tuller, S., 1997. Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime onshore wind. *International Journal of Biometeorology* **41**, 26–33.
- Yan, Y.Y., 1997. An analysis of the thermal stress of climate in Hong Kong. Singapore. *Journal of Tropical Geography* **18 (2)**, 210–217.
- WMO, 1972. *The Assesment of Human Bioclimate*. WMO Tech. Note No. 123, WMO No.331, WMO, Geneva.

Capítulo 5: CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN RELACIÓN CON LA MORTALIDAD Y LOS ÍNDICES

5.1. INTRODUCCIÓN

La presencia de contaminantes en la atmósfera es desde hace bastantes años motivo de preocupación social, debido al desarrollo industrial y tecnológico de las últimas décadas en gran cantidad de países. Aunque las bajas temperaturas se consideran el principal factor determinante de la mortalidad, han aumentado en los últimos años los artículos de investigación sobre los contaminantes como factor indirecto (Marshall et al., 1988; Mannino y Washburn, 1989; Pan et al., 1995; Auliciems et al., 1997; Ballester et al., 1997; Spencer et al., 1998; Seto et al., 1998; Sheth et al., 1999; Pell y Cobbe, 1999; Danet et al., 1999, Kloner et al., 1999;

Curriero et al., 2002; Hajat y Haines, 2002; Braga et al., 2002; Michalsen et al., 2003; Crawford et al., 2003; Koken et al., 2003; Ebi et al., 2004; Feldman et al., 2004).

De hecho, la contaminación atmosférica producida por altas concentraciones de partículas y gases, constituye una línea de investigación importante en Biometeorología, con una importante repercusión en la salud pública. Los programas estadísticos avanzados para la evaluación de datos y las técnicas analíticas de medida han permitido impulsar este tipo de estudios.

Tales investigaciones se han llevado a cabo en zonas con altas emisiones de contaminantes a la atmósfera, como Japón (Shindo et al., 1990) y la India (Pandey et al., 1992). Se han estudiado asimismo las relaciones y correspondencias entre concentraciones de contaminantes y variables atmosféricas, pues con condiciones meteorológicas adversas disminuye la dispersión de partículas y gases. Tales trabajos se han realizado con técnicas empíricas que concluyen en modelos que, con frecuencia, no dan razón de los mecanismos involucrados. Así se obtienen modelos analíticos en cuya formulación entran coeficientes que se determinan por técnicas de optimización estadística. Destacan entre estos trabajos los de Jáuregui (1988) en México, Tomás et al. (1991) en España, Boznar et al. (1993) en Eslovenia, y Yamamoto et al. (1995) en Japón.

Dichos modelos se basan en series con un alto número de datos experimentales. Es habitual en estos análisis que el modelo pierda validez al introducir una nueva variable, lo que puede incrementar notablemente la dificultad de la investigación. De todo ello se concluye la importancia de las hipótesis de partida para el tratamiento de los datos. Así, por ejemplo, Panero et al. (1997) encontraron que la predicción de niveles de

concentración de contaminantes en Salamanca a partir de una sola variable era inconsistente, mejorando los resultados si se incluían en el modelo datos del día anterior.

Algunos autores, como Liang et al. (2008), encontraron que las diferencias no conclusivas de los resultados obtenidos al estudiar los efectos de los contaminantes en la mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio y Respiratorio en Asia podrían en parte explicarse por la estacionalidad y por las edades de los pacientes. Las concentraciones de partículas y gases en las ciudades asiáticas donde se han llevado a cabo bastantes de estos trabajos suelen ser superiores a las encontradas en ciudades europeas, lo que explicaría las dificultades encontradas a la hora de hallar modelos consistentes. En este sentido, diversos estudios confirman que la mortalidad por todo tipo de causas, y en especial por enfermedades de los aparatos Circulatorio y Respiratorio, puede correlacionarse en invierno con los niveles de SO₂, NO₂ y CO (Wong et al., 2002; Chang et al., 2005).

Algunos autores (Smoyer et al., 2000) han considerado que, aunque determinados niveles de contaminación son un factor de riesgo para la mortalidad, no resulta claro si la contaminación agrava los efectos de las variables, o si las variables son la causa del aumento de los efectos de los contaminantes, o si ambos afectan a la mortalidad independientemente.

En el caso de las enfermedades del aparato Circulatorio, Peters et al. (2000) hallaron que los altos niveles de NO₂ aumentan la incidencia de la arritmia ventricular y la taquicardia ventricular en pacientes con desfibriladores implantados.

Otros investigadores (Maheswaran et al., 2005; Pinkerton y Joad, 2006; Medina-Ramón et al., 2006) han llegado a resultados consistentes en

cuanto a la asociación entre niveles de contaminación atmosférica y mortalidad y morbilidad para enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio.

Los periodos de latencia en cuanto a la mortalidad asociada a la contaminación constituyen un factor que ha sido objeto de diversos estudios (Braga et al., 2001; Kim et al., 2003). Así, las defunciones a corto plazo para todas las edades y su relación con la contaminación atmosférica ha sido estudiada por Filleul et al. (2004), encontrando mejores resultados en los periodos 1-5 días para los mayores de 65 años. También se ha confirmado que muchos de los efectos de la contaminación atmosférica persisten durante más de un mes (Zanobetti et al., 2003).

La técnica del Análisis de Componentes Principales, empleada en el presente trabajo en los capítulos 3, 4 y 5, también ha sido utilizada por González et al. (2006) para el estudio de las variaciones de concentración de contaminantes en diferentes puntos de observación, en el Campo de Gibraltar. También se suelen con frecuencia observar cambios significativos en concentraciones de contaminantes según estaciones y a lo largo del día, lo que añade complejidad al problema.

Se han realizado estudios sobre la interacción entre variables atmosféricas y contaminantes en relación con la salud pública. El caso más estudiado es el de la temperatura con partículas y gases, con resultados que en bastantes casos no han sido concluyentes (Katsouyanni et al., 1997; Choi et al., 1997; Samet et al., 1998; Roberts, 2004). Se puede afirmar que existe una relación significativa entre la contaminación de la atmósfera y la mortalidad (Shumway et al., 1988; Schwartz y Dockery, 1992 a, b; Thurston, 1996). En el caso del ozono, Bell y Dominici (2008) concluyeron que algunas características sociales y geográficas modificaban la relación

entre el ozono y la mortalidad. En su estudio, realizado en noventa y ocho áreas urbanas de los Estados Unidos, citan el alto desempleo de la población afroamericana, el uso de transporte público y las bajas temperaturas.

Ren y Tong (2006) mostraron que existía una correlación significativa entre PM10 y temperatura en mortalidad y morbilidad con días de diferencia en Australia, obteniéndose mejores resultados para días cálidos que para fríos. En la misma zona geográfica, Hu et al. (2008) comprobaron que se incrementaba la mortalidad total por la combinación de máximas temperaturas diarias con concentraciones elevadas de SO₂. En el caso de este contaminante, Gonçalves et al. (2007) han encontrado que, juntamente con PM10, tenía correlaciones positivas con la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en el área metropolitana de Sao Paulo, si bien no estadísticamente significativas.

En el caso de las partículas, las investigaciones que se realizan en los últimos años indican que un ambiente atmosférico con alto contenido en aerosoles tiene efectos adversos en mortalidad y morbilidad para enfermedades cardiovasculares y respiratorias (O'Neill et al., 2003; Bateson y Schwartz, 2004; Glinianaia et al., 2004; Dominici et al., 2006). La importancia de las altas concentraciones de partículas en la mortalidad en inviernos australes fue estudiada por Grass y Cane (2008), quienes concluyeron que, mientras que la mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio era más sensible a las variables atmosféricas, sin embargo, la mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio lo era a los niveles de contaminación, especialmente de NO₂ y PM10-2,5. El efecto de los contaminantes sobre los datos de mortalidad-morbilidad ha sido objeto de estudios recientes en los que se controla el efecto de factores tales como

variables, estación y otros (Rainham et al., 2005; Schwartz, 2005; Pope y Dockery, 2006).

El estudio de las PM₁₀ y PM_{2,5} y su relación con la salud es difícil debido a la complejidad química de su composición (Cárdenas et al., 2008). Su toxicidad depende también de la distribución de tamaños: en algunos trabajos se ha concluido que las partículas más finas producen efectos más acusados sobre la salud que las grandes (Bremner et al., 1999; Lee et al., 1999). En el caso de las PM_{2,5} se han hallado asociaciones significativas con arritmia (Mann et al., 2002) e hipertensión (Dubowsky et al., 2006).

En el caso del ozono se produce una disparidad de conclusiones debida en buena parte a la gran cantidad de factores que intervienen. En estudios como los de Katsouyanni et al. (1993), Anderson et al. (1996) y Rooney et al. (1998) se consideraba que el ozono —y en ocasiones también el dióxido de azufre y las partículas— eran causantes del exceso de mortalidad en periodos de altas temperaturas. Otros autores, como Dominici et al. (2002) y Ramsay et al. (2003), redujeron la importancia que se había atribuido al ozono. Por otro lado, al aumento de mortalidad en días de temperaturas altas suele seguir una prolongada reducción de la misma, que algunos investigadores han determinado en al menos dos semanas (Macfarlane y Waller, 1976; Hajat et al., 2002; Kysely, 2004; Welty y Zeger, 2005). Como hacen notar Keatinge y Donaldson (2006), tal disminución de la mortalidad podría atribuirse falsamente al ozono si los niveles de este descienden tras el periodo de calor veraniego.

La asociación entre los contaminantes SO₂, CO, NO₂, PM₁₀ y la mortalidad se ha confirmado para el caso de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, especialmente para mayores de 65 años durante el invierno (Liang et al., 2008).

Asimismo cabe la posibilidad de que más factores no se tengan en cuenta y puedan causar confusión si varían correlativamente con algún contaminante. Así, la luminosidad solar en épocas cálidas puede incrementar el stress térmico por radiación. Por otro lado, la radiación solar puede favorecer reacciones fotoquímicas con formación de ozono (Krupa, 2000), al actuar sobre el dióxido de nitrógeno atmosférico. También la escasez de viento puede producir el aumento de otros contaminantes en el aire urbano con aumento del stress térmico (Gagge y Nishi, 1977).

Como tales interacciones de contaminantes y variables con mortalidad y morbilidad tienen gran importancia en el análisis de los factores etiológicos a efectos de las políticas de salud pública (Rothman y Greenland, 1998), recientemente se están llevando a cabo estudios en esta línea. En estas investigaciones se analiza si las características demográficas, geográficas y de situación sanitaria previa pueden modificar la correlación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad-morbilidad. En algunos artículos se concluye que son factores relevantes la edad, el sexo, el status económico-social y las enfermedades previas (O’Neill et al., 2003, 2005; Bateson y Schwartz, 2004; Jerrett et al., 2004). Las desigualdades sociales han tenido un efecto modificador en la asociación entre salud y contaminación por partículas en los Estados Unidos, según se desprende del artículo de Charafeddine y Boden (2008).

5.2. MATERIAL Y MÉTODOS

Como material de trabajo se han utilizado los datos diarios totales de mortalidad de Castilla-La Mancha por enfermedades del aparato Circulatorio y Respiratorio desde el 1 de enero de 2000 hasta el 31 de diciembre de 2004. Se normalizaron tales datos diarios así como los regionales de temperatura (°C), presión (hPa), humedad relativa (%),

radiación (W/m^2), monóxido de carbono (mg/m^3), óxidos de nitrógeno ($\mu g/m^3$), dióxido de nitrógeno ($\mu g/m^3$), dióxido de azufre ($\mu g/m^3$), partículas menores de 10 micrómetros ($\mu g/m^3$), y ozono ($\mu g/m^3$). Asimismo se incluyeron en el fichero los Índices H, ET y NET. También se añadieron como nuevas variables estadísticas los mismos datos anteriores con media móvil centrada de amplitud 3 días, con el fin de observar la variación producida en el tratamiento estadístico.

Con estos datos de partida se realizó un Análisis de Componentes Principales, con el fin de reducir toda la información inicial en factores que sean de mayor utilidad sanitaria. A través de dicha técnica se pretenden identificar las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos que más afectan a la mortalidad, así como la relación entre ellos.

Se obtuvieron cuatro ficheros de tipos de relaciones:

Circulatorio: contaminantes y variables

Circulatorio: contaminantes e Índices

Respiratorio: contaminantes y variables

Respiratorio: contaminantes e Índices

Con las variables de media móvil centrada se obtuvieron asimismo los correspondientes cuatro ficheros de tipos de relaciones:

Circulatorio: contaminantes y variables con media móvil centrada

Circulatorio: contaminantes e Índices con media móvil centrada

Respiratorio: contaminantes y variables con media móvil centrada

Respiratorio: contaminantes e Índices con media móvil centrada

En cada uno de los ocho ficheros de tipos de relaciones obtenidos se calculó la matriz de correlaciones con las correspondientes significaciones, el determinante, la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Barlett.

También se obtuvieron las comunalidades de las variables, es decir, la proporción de varianza de cada variable que puede ser explicada tras la extracción, así como la matriz de componentes rotados por el método Varimax. Esta matriz contiene las correlaciones entre las variables originales y cada uno de los factores. El método Varimax, de rotación ortogonal, minimiza el número de variables con saturaciones altas en cada factor (Comrey, 1985).

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las extracciones realizadas por el procedimiento de Análisis de Componentes Principales se obtuvieron matrices de correlaciones con variables que correlacionaban fuertemente entre sí. De haberse obtenido matrices próximas a la matriz unidad, la solución hallada se habría considerado deficiente. Sin embargo en todos los casos el determinante fue prácticamente cero. Asimismo, en la gran mayoría de los casos, las significaciones unilaterales dieron valores adecuados, menores que 0,05.

Por otro lado, también en todos los casos, la medida de adecuación muestral de KMO dio valores superiores a 0,5 y en varios de ellos del orden de 0,8. Además, la significación para la prueba de esfericidad de Bartlett dio siempre 0,000. Por todo ello, puede considerarse como adecuado el análisis factorial efectuado.

Las comunalidades dan valores del orden de 0,9 para los Índices, y con una variabilidad algo mayor para el resto en todos los casos, si bien con valores aceptables.

Se estudian a continuación los resultados obtenidos (matriz de correlaciones, y matriz de componentes rotados) para todos los Análisis de Componentes, con la significación correspondiente en la matriz de correlaciones, para los casos en los que no se ha realizado la media móvil centrada.

ACP Circulatorio: contaminantes y variables

Se obtiene la siguiente matriz de correlaciones entre contaminantes y variables (Tabla 5.1).

Hay que resaltar las elevadas correlaciones que se dan entre varios de los contaminantes, tal como se aprecia en la matriz de correlaciones. Así, observamos valores tales como 0,842 (NO_x con CO), 0,628 (NO₂ con CO), 0,592 (NO₂ con NO_x), 0,621 (SO₂ con CO), 0,645 (SO₂ con NO_x), -0,724 (O₃ con CO), -0,748 (O₃ con NO_x), -0,511 (O₃ con NO₂), -0,539 (O₃ con SO₂).

Estos resultados son lógicos, debido a las fuentes de los contaminantes gaseosos estudiados. En el caso del CO, las fuentes naturales aportan más del 90%, en tanto que el de origen antropogénico es producido en su mayor parte por el transporte. También influyen de manera notable otras fuentes emisoras como las plantas de combustión y el tratamiento de residuos, así como las refinerías de petróleo. En cuanto a los óxidos de nitrógeno, tanto el monóxido como el dióxido tienen como su principal origen el transporte, y cualquier otro tipo de procesos en que tengan lugar reacciones de combustión a altas temperaturas.

Tabla 5.1. Matriz de correlaciones de valores normalizados (scores) de mortalidad total (Mort. Circ.), contaminantes y variables, por enfermedades del aparato Circulatorio. * p < 0,05, ** p < 0,01, ***p < 0,001.

Correlación	CO	NO _x	NO ₂	SO ₂	PM10	O ₃	T	P	HR	Rad
Mort. Circ.	0,071*	0,082**	0,008	0,085**	-0,030	-0,111**	-0,154***	0,020	0,115***	-0,132***
CO		0,842***	0,628***	0,621***	0,230***	-0,724***	-0,551***	0,374***	0,460***	-0,499***
NO _x			0,592***	0,645***	0,248***	-0,748***	-0,537***	0,413***	0,433***	-0,473***
NO ₂				0,387***	0,358***	-0,511***	-0,239***	-0,289***	0,219***	-0,234***
SO ₂					0,247***	-0,539***	-0,442***	0,340***	0,210***	-0,367***
PM10						-0,011	0,301***	0,311***	-0,322***	0,215***
O ₃							0,765***	-0,342***	-0,727***	0,767***
T								-0,139***	-0,760***	0,809***
P									-0,041	-0,026
HR										-0,896***

Determinante = 0,000

Tabla 5.2. Saturaciones de los valores normalizados (scores) de mortalidad (Mort. Circ.), contaminantes y variables, por enfermedades del aparato Circulatorio. En **negrita**, los máximos en cada componente.

	Componente	
	1	2
Mort. Circ.	-0,190	0,012
CO	-0,453	0,778
NO_x	-0,431	0,797
NO₂	-0,138	0,737
SO₂	-0,282	0,693
PM10	0,495	0,645
O₃	0,745	-0,563
T	0,885	-0,227
P	0,087	0,649
HR	-0,928	0,064
Rad	0,914	-0,167

Tanto el monóxido de nitrógeno, como el dióxido de nitrógeno se ven implicados en la aparición de otro de los contaminantes estudiados, el ozono, a través de un ciclo de reacciones fotoquímicas denominado “ciclo fotolítico de los óxidos de nitrógeno”. En dicho ciclo, las concentraciones de NO y NO₂ permanecerían constantes en sus valores, según la tasa de emisión y la intensidad de la radiación existente. En la práctica, la presencia de hidrocarburos altera el ciclo, con la aparición de contaminantes secundarios, responsables del smog fotoquímico. Posiblemente este tipo de procesos sean los causantes de las correlaciones negativas del O₃ con los otros contaminantes mencionados más arriba.

También las emisiones de SO₂ tienen orígenes comunes con los otros contaminantes, lo que explicaría los apreciables valores de correlación reseñados anteriormente. Efectivamente, si bien las emisiones naturales suponen algo más del 50% de las totales de SO₂, las antropogénicas provienen de focos de industriales de combustión.

Al aplicar el Análisis de Componentes Principales a la matriz de contaminantes y variables, se obtienen dos factores tras la rotación por el método Varimax. Las saturaciones se pueden apreciar en la Tabla 5.2. El primer factor explica el 34,7% de la varianza y el segundo el 31,9% de la varianza. El primer factor tiene valores claramente superiores para todas las variables atmosféricas salvo para la presión y la humedad relativa. Así, tenemos 0,89 para la temperatura, y 0,91 para la radiación. La correlación con la mortalidad normalizada es inferior a la del segundo factor. El O₃ tiene una mayor correlación en este primer factor (0,75) que en el segundo (-0,56).

El segundo factor tiene correlaciones cercanas al 0,8 con CO, NO_x y NO₂, cercanas al 0,7 con SO₂ y PM10, y cercana al 0,6 pero negativa con el O₃. Destaca el hecho de que la presión tiene una correlación mayor en este factor que en el primero. La correlación con la mortalidad normalizada es muy baja y positiva.

ACP Circulatorio: contaminantes e Índices

La matriz de correlaciones se recoge en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Matriz de correlaciones de valores normalizados de mortalidad (Mort. Circ.), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Circulatorio. * p < 0,05, ** p < 0,01, ***p < 0,001.

Correlación	CO	NO _x	NO ₂	SO ₂	PM10	O ₃	H	ET	NET
Mort. Circ.	0,093 ^{***}	0,105 ^{***}	0,029	0,104 ^{***}	-0,035	-0,123 ^{***}	-0,167 ^{***}	-0,173 ^{***}	-0,164 ^{***}
CO		0,825 ^{***}	0,634 ^{***}	0,608 ^{***}	0,243 ^{***}	-0,712 ^{***}	-0,513 ^{***}	-0,531 ^{***}	-0,612 ^{***}
NO _x			0,576 ^{***}	0,642 ^{***}	0,264 ^{***}	-0,747 ^{***}	-0,520 ^{***}	-0,532 ^{***}	-0,608 ^{***}
NO ₂				0,396 ^{***}	0,376 ^{***}	-0,506 ^{***}	-0,231 ^{***}	-0,240 ^{***}	-0,326 ^{***}
SO ₂					0,283 ^{***}	-0,531 ^{***}	-0,417 ^{***}	-0,419 ^{***}	-0,414 ^{***}
PM10						-0,016	0,299 ^{***}	0,299 ^{***}	0,265 ^{***}
O ₃							0,704 ^{***}	0,727 ^{***}	0,826 ^{***}
H								0,996 ^{***}	0,942 ^{***}
ET									0,955 ^{***}

Determinante = 3,11.10⁻⁶

En el supuesto de mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio (contaminantes e Índices) se obtienen asimismo dos factores. El primero explica un 38,2% de la varianza tras la rotación y el segundo un 34,6%. En el primer factor se aprecian elevados valores de las correlaciones para los Índices (0,94 para el H, 0,94 para el ET y 0,92 para el NET). En el segundo factor, sin embargo, se obtienen coeficientes mucho mayores para la mayoría de los contaminantes (0,81 para CO, 0,81 para NO_x, 0,79 para NO_x, 0,71 para SO₂, 0,66 para PM10).

Un caso especial parece ser el del O₃, con un peso estadístico del 0,66 en el primer factor y del -0,60 en el segundo. Un resultado análogo obtienen Gonçalves et al. (2007) en Sao Paulo (Brasil). Estos autores lo atribuyen a que la concentración de ozono varía durante las estaciones y presenta los valores más altos en la primavera, en contraste con otros contaminantes, cuyas concentraciones suelen ser más altas en invierno. En cuanto a la mortalidad normalizada, se obtiene un valor negativo y bajo en el primer factor (-0,22) y positivo pero cercano a cero en el segundo (0,03). Los pesos estadísticos o saturaciones se expresan en la Tabla 5.4.

ACP Respiratorio: Contaminantes y variables

La matriz de correlaciones que se obtiene es la que se recoge en la Tabla 5.5.

En el caso de las enfermedades del aparato Respiratorio (contaminantes y variables) se obtienen tras la rotación dos factores. El primero explica un 36,0% de la varianza y el segundo un 31,1%. El primer factor tiene valores claramente superiores para todas las variables atmosféricas salvo para la presión y la humedad relativa. Así, tenemos 0,90 para la temperatura, y 0,93 para la radiación. La correlación con la

mortalidad normalizada es inferior a la del segundo factor. El O₃ tiene una mayor correlación en este primer factor (0,79) que en el segundo (-0,51).

El segundo factor tiene correlaciones cercanas al 0,8 con CO, NO_x y NO₂, cercanas al 0,7 con SO₂ y PM10 y cercana al 0,5 pero negativa con el O₃. Destaca el hecho de que la presión tiene una correlación superior en este factor que en el primero. La correlación con la mortalidad normalizada es muy baja y positiva. En definitiva, se vuelven a reproducir los resultados del Circulatorio, con valores muy parecidos. Las saturaciones se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.4. Saturaciones de mortalidad (Mort.Circ.), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Circulatorio. En **negrita**, los máximos en cada componente.

	Componente	
	1	2
Mort. Circ.	-0,224	0,029
CO	-0,389	0,813
NO _x	-0,395	0,814
NO ₂	-0,057	0,790
SO ₂	-0,263	0,706
PM10	0,564	0,659
O ₃	0,667	-0,602
H	0,939	-0,225
ET	0,944	-0,237
NET	0,922	-0,324

Tabla 5.5. Matriz de correlaciones de mortalidad (Mort.Resp.), contaminantes y variables, por enfermedades del aparato Respiratorio.
 * p < 0,05, ** p < 0,01, ***p < 0,001.

Correlación	CO	NO _x	NO ₂	SO ₂	PM10	O ₃	T	P	HR	Rad
Mort. Resp.	0,158***	0,115**	0,090*	0,105**	0,024	-0,141***	-0,161***	0,091*	0,148***	-0,149***
CO		0,852***	0,624***	0,624***	0,278***	-0,714***	-0,543***	0,399***	0,436***	-0,475***
NO_x			0,605***	0,657***	0,313***	-0,734***	-0,519***	0,441***	0,416***	-0,443***
NO₂				0,375***	0,428***	-0,505***	-0,215***	0,313***	0,196***	-0,198***
SO₂					0,288***	-0,544***	-0,435***	0,372***	0,200***	-0,345***
PM10						-0,049	0,274***	0,322***	-0,309***	0,213***
O₃							0,770***	-0,389***	-0,727***	0,767***
T								-0,174***	-0,755***	0,810***
P									0,008	-0,066
HR										-0,896***

Determinante = 0,000

ACP Respiratorio: Contaminantes e Índices

La matriz de correlaciones que se obtiene se muestra en la Tabla 5.7.

En el cuarto de los casos (Respiratorio: contaminantes e Índices) se obtienen asimismo dos factores. El primero explica un 41,5% de la varianza tras la rotación y el segundo un 31,5%. En el primer factor se aprecian unos elevados valores de las correlaciones para los Índices (0,96 para el H, 0,97 para el ET y 0,96 para el NET). En el segundo factor, sin embargo, se obtienen saturaciones mucho mejores para la mayoría de los contaminantes (0,76 para CO, 0,77 para NO_x, 0,79 para NO₂, 0,67 para SO₂, 0,75 para PM10).

Tabla 5.6. Saturaciones de mortalidad (Mort. Resp.), contaminantes, y variables por enfermedades del aparato Respiratorio. En **negrita**, los máximos en cada componente.

	Componente	
	1	2
Mort. Resp.	-0,184	0,112
CO	-0,493	0,751
NO_x	-0,463	0,781
NO₂	-0,157	0,743
SO₂	-0,322	0,677
PM10	0,422	0,718
O₃	0,787	-0,506
T	0,902	-0,157
P	-0,025	0,647
HR	-0,931	-0,008
Rad	0,931	-0,079

Tabla 5.7. Matriz de correlaciones de mortalidad total (Mort. Resp.), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Respiratorio.
 * p < 0,05, ** p < 0,01, ***p < 0,001.

Correlación	CO	NO _x	NO ₂	SO ₂	PM10	O ₃	H	ET	NET
Mort.Resp.	0,139 ^{***}	0,088 ^{**}	0,078 ^{***}	0,078 [*]	0,010	-0,122 ^{***}	-0,132 ^{***}	-0,141 ^{***}	-0,148 ^{***}
CO		0,826 ^{***}	0,644 ^{***}	0,601 ^{***}	0,278 ^{***}	-0,698 ^{***}	-0,508 ^{***}	-0,524 ^{***}	-0,606 ^{***}
NO_x			0,603 ^{***}	0,644 ^{***}	0,312 ^{***}	-0,737 ^{***}	-0,513 ^{***}	-0,524 ^{***}	-0,604 ^{***}
NO₂				0,392 ^{***}	0,428 ^{***}	-0,513 ^{***}	-0,227 ^{***}	-0,236 ^{***}	-0,327 ^{***}
SO₂					0,321 ^{***}	-0,524 ^{***}	-0,398 ^{***}	-0,401 ^{***}	-0,400 ^{***}
PM10						-0,043	0,281 ^{***}	0,280 ^{***}	0,233 ^{***}
O₃							0,707 ^{***}	0,730 ^{***}	0,833 ^{***}
H								0,996 ^{***}	0,942 ^{***}
ET									0,954 ^{***}

Determinante = $2,77 \cdot 10^{-6}$

Al igual que en el Circulatorio, aparece el caso particular del O₃, con una saturación de 0,74 en el primer factor y de -0,51 en el segundo. En cuanto a la mortalidad normalizada, se obtiene un valor negativo y bajo en el primer factor (-0,17) y positivo pero cercano a cero en el segundo (0,08). Las saturaciones se muestran en la Tabla 5.8.

Globalmente considerados, los resultados obtenidos para el Circulatorio vienen a ser muy parecidos a los del Respiratorio. Asimismo los tres Índices incluidos en el análisis han dado saturaciones bastante similares.

Los resultados que se obtienen en el Análisis de Componentes con medias móviles centradas de amplitud 3 no mejoran sustancialmente los comentados en los párrafos anteriores. Se muestran a continuación.

ACP Circulatorio: contaminantes y variables con media móvil centrada.

En las Tablas se muestran la matriz de correlaciones de mortalidad, contaminantes y variables con media móvil centrada (Tabla 5.9), porcentaje de varianza explicada (Tabla 5.10), y saturaciones (Tabla 5.11). La matriz de correlaciones con media móvil centrada proporciona valores muy parecidos a sus correspondientes en la matriz de correlaciones sin media móvil centrada (Tabla 5.1). El porcentaje de varianza explicada tras la rotación es de 37,5% para el primer factor (34,7% sin media móvil centrada), y 32,1% para el segundo (31,8% sin media móvil centrada), lo que no supone una diferencia sustantiva en cuanto a los resultados finales. Análogas consideraciones pueden realizarse al comparar las saturaciones obtenidas en ambos factores con las de la Tabla 5.2, que son similares.

ACP Circulatorio: contaminantes e Índices con media móvil centrada

Se muestran también la matriz de correlaciones de mortalidad, contaminantes e Índices con media móvil centrada (Tabla 5.12), porcentaje de varianza explicada (Tabla 5.13), y saturaciones (Tabla 5.14). La matriz de correlaciones registra valores que difieren, en casi todos los casos, en pocas centésimas con respecto a sus correspondientes de la matriz de correlaciones sin media móvil centrada (Tabla 5.3). Los porcentajes de varianza explicada son asimismo muy parecidos: 38,5% para el primer factor, y 36,4% para el segundo factor, en tanto que sin media móvil centrada se obtenían 38,2% para el primer factor y 34,5% para el segundo. Los coeficientes de saturación de cada factor obtenido son casi iguales que los respectivos de la Tabla 5.4, con diferencias tan pequeñas que se puede concluir que la mortalidad, los contaminantes y los Índices saturan de la misma forma.

Tabla 5.8. Saturaciones de mortalidad (Mort.Resp), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Respiratorio. En **negrita** los máximos de cada componente.

	Componente	
	1	2
Mort. Resp.	-0,165	0,077
CO	-0,480	0,759
NO_x	-0,479	0,773
NO₂	-0,149	0,790
SO₂	-0,327	0,673
PM10	0,455	0,752
O₃	0,742	-0,509
H	0,962	-0,105
ET	0,969	-0,116
NET	0,956	-0,212

Tabla 5.9. Matriz de correlaciones de mortalidad (Mort. Circ. mmc), contaminantes y variables, por enfermedades del aparato Circulatorio, con media móvil centrada.

Correlación	CO_mmc	NOx_mmc	NO2_mmc	SO2_mmc	PM10_mmc	O3_mmc	T_mmc	P_mmc	HR_mmc	Rad_mmc
Mort. Circ. mmc	0,103	0,134	0,021	0,202	-0,086	-0,223	-0,281	0,086	0,227	-0,252
CO_mmc		0,856	0,615	0,656	0,182	-0,753	-0,615	0,410	0,516	-0,586
NOx_mmc			0,587	0,682	0,220	-0,786	-0,606	0,459	0,499	-0,567
NO2_mmc				0,371	0,321	-0,508	-0,281	0,304	0,277	-0,302
SO2_mmc					0,256	-0,581	-0,501	0,404	0,236	-0,417
PM10_mmc						0,044	0,321	0,357	-0,383	0,259
O3_mmc							0,813	-0,370	-0,774	0,832
T_mmc								-0,164	-0,797	0,852
P_mmc									-0,012	-0,069
HR_mmc										-0,915

Determinante = $5,41 \cdot 10^{-5}$

Tabla 5.10. Porcentaje de varianza total explicada por los factores obtenidos tras aplicación de ACP a mortalidad, contaminantes y variables por enfermedades del aparato Circulatorio con media móvil centrada.

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,5	49,8	49,8	4,1	37,5	37,5
2	2,2	19,8	69,6	3,5	32,1	69,6

Tabla 5.11. Saturaciones de los valores normalizados (scores) de mortalidad (Mort.Circ._mmc), contaminantes y variables, por enfermedades del aparato Circulatorio, con media móvil centrada.

	Componente	
	1	2
Mort.Circ._mmc	-0,333	0,029
CO_mmc	-0,496	0,757
NO_x_mmc	-0,477	0,786
NO₂_mmc	-0,179	0,697
SO₂_mmc	-0,307	0,714
PM10_mmc	0,544	0,655
O₃_mmc	0,772	-0,550
T_mmc	0,894	-0,257
P_mmc	0,071	0,704
HR_mmc	-0,935	0,079
Rad_mmc	0,920	-0,214

Tabla 5.12. Matriz de correlaciones de mortalidad (Mort. Circ. mmc), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Circulatorio, con media móvil centrada.

Correlación	CO_mmc	NOx_mmc	NO2_mmc	SO2_mmc	PM10_mmc	O3_mmc	H_mmc	ET_mmc	NET_mmc
Mort.Circ._mmc	0,122	0,144	0,019	0,203	-0,087	-0,210	-0,269	-0,277	-0,257
CO_mmc		0,841	0,629	0,643	0,197	-0,746	-0,587	-0,603	-0,654
NOx_mmc			0,579	0,681	0,233	-0,791	-0,600	-0,609	-0,659
NO2_mmc				0,395	0,361	-0,510	-0,271	-0,279	-0,346
SO2_mmc					0,300	-0,570	-0,480	-0,481	-0,451
PM10_mmc						0,037	0,306	0,310	0,295
O3_mmc							0,763	0,781	0,852
H_mmc								0,996	0,944
ET_mmc									0,957

Determinante = $1,66 \cdot 10^{-5}$

Tabla 5.13. Porcentaje de varianza total explicada por los factores obtenidos tras aplicación de ACP a mortalidad, contaminantes e Índices por enfermedades del aparato Circulatorio, con media móvil centrada.

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,6	55,8	55,8	3,9	38,5	38,5
2	1,9	19,1	74,9	3,6	36,4	74,9

Tabla 5.14. Saturaciones de los valores normalizados (scores) de mortalidad (Mort.Circ._mmc.), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Circulatorio, con media móvil centrada.

	Componente	
	1	2
Mort.Circ._mmc	-0,367	0,021
CO_mmc	-0,399	0,815
NO _x _mmc	-0,407	0,824
NO ₂ _mmc	-0,030	0,787
SO ₂ _mmc	-0,264	0,735
PM10_mmc	0,625	0,633
O ₃ _mmc	0,674	-0,622
H_mmc	0,911	-0,316
ET_mmc	0,918	-0,324
NET_mmc	0,898	-0,376

ACP Respiratorio: contaminantes y variables con media móvil centrada.

Se muestran también la matriz de correlaciones de mortalidad, contaminantes y variables con media móvil centrada (Tabla 5.15), porcentaje de varianza explicada (Tabla 5.16) y saturaciones (Tabla 5.17). La matriz de correlaciones registra valores con diferencias muy pequeñas respecto de la correspondiente matriz sin media móvil centrada (Tabla 5.5), que no modifican los análisis realizados. Asimismo, los porcentajes de varianza explicada tras la rotación (37,2% para el primer factor y 33,3% para el segundo factor) son del mismo orden que los obtenidos sin media móvil centrada (36,0% y 31,1% para el primer y segundo factor respectivamente). Sin embargo, los valores mayores de la mortalidad, contaminantes y variables en cada factor son distintos a los de la Tabla 5.6. en todos los casos.

ACP Respiratorio: contaminantes e Índices con media móvil centrada.

En las Tablas se muestran la matriz de correlaciones de mortalidad, contaminantes e Índices con media móvil centrada (Tabla 5.18), porcentaje de varianza explicada (Tabla 5.19), y saturaciones (Tabla 5.20). La matriz de correlaciones da valores similares a los de la Tabla 5.7. Los porcentajes de varianza explicada tras la rotación (38,7% para el primer factor y 37,6% para el segundo factor) son similares a los del análisis realizado sin media móvil centrada (41,5% y 31,5% para el primer y segundo factor respectivamente). Los coeficientes de saturación son del mismo orden que sus correspondientes de la Tabla 5.8.

Tabla 5.15. Matriz de correlaciones de mortalidad (Mort. Resp. mmc), contaminantes y variables, por enfermedades del aparato Respiratorio, con media móvil centrada.

Correlación	CO_mmc	NOx_mmc	NO2_mmc	SO2_mmc	PM10_mmc	O3_mmc	T_mmc	P_mmc	HR_mmc	Rad_mmc
Mort.Resp._mmc	0,147	0,055	0,015	0,168	-0,249-	-0,260	-0,384	0,100	0,317	-0,336
CO_mmc		0,866	0,614	0,623	0,354	-0,746	-0,552	0,457	0,465	-0,522
NOx_mmc			0,649	0,662	0,463	-0,753	-0,495	0,529	0,441	-0,466
NO2_mmc				0,279	0,442	-0,511	-0,202	0,366	0,263	-0,229
SO2_mmc					0,376	-0,595	-0,500	0,443	0,213	-0,379
PM10_mmc						-0,165	0,219	0,369	-0,268	0,175
O3_mmc							0,784	-0,517	-0,743	0,825
T_mmc								-0,233	-0,743	0,828
P_mmc									0,140	-0,199
HR_mmc										-0,897

Determinante = $4,07 \cdot 10^{-5}$

Tabla 5.16. Porcentaje de varianza total explicada por los factores obtenidos tras aplicación de ACP a mortalidad, contaminantes y variables por enfermedades del aparato Respiratorio, con media móvil centrada.

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,4	49,3	49,3	4,1	37,2	37,2
2	2,3	21,2	70,5	3,7	33,3	70,5

Tabla 5.17. Saturaciones de los valores normalizados (scores) de mortalidad, (Mort.Resp._mmc) contaminantes y variables por enfermedades del aparato Respiratorio, con media móvil centrada.

	Componente	
	1	2
Mort. Resp._mmc	-0,071	-0,544
CO_mmc	0,813	-0,377
NO_x_mmc	0,887	-0,286
NO₂_mmc	0,732	-0,054
SO₂_mmc	0,695	-0,255
PM10_mmc	0,731	0,495
O₃_mmc	-0,662	0,689
T_mmc	-0,291	0,870
P_mmc	0,673	-0,060
HR_mmc	0,186	-0,887
Rad_mmc	-0,268	0,899

Tabla 5.18. Matriz de correlaciones de mortalidad (Mort. Resp._mmc)) contaminantes, Índices, y mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio con media móvil centrada.

Correlación	CO_mmc	NOx_mmc	NO2_mmc	SO2_mmc	PM10_mmc	O3_mmc	H_mmc	ET_mmc	NET_mmc
Mort.Resp._mmc	0,191	0,109	0,079	0,162	-0,211	-0,301	-0,369	-0,386	-0,385
CO_mmc		0,847	0,660	0,598	0,354	-0,729	-0,538	-0,554	-0,634
NOx_mmc			0,667	0,640	0,426	-0,764	-0,528	-0,538	-0,622
NO2_mmc				0,315	0,460	-0,532	-0,265	-0,274	-0,380
SO2_mmc					0,409	-0,533	-0,442	-0,446	-0,435
PM10_mmc						-0,111	0,229	0,230	0,158
O3_mmc							0,746	0,767	0,865
H_mmc								0,996	0,936
ET_mmc									0,950

Determinante = $1,34 \cdot 10^{-6}$

Tabla 5.19. Porcentaje de varianza total explicada por los factores obtenidos tras aplicación de ACP a mortalidad, contaminantes e Índices por enfermedades del aparato Respiratorio, con media móvil centrada.

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,5	55,2	55,2	3,9	38,7	38,7
2	2,1	21,1	76,3	3,8	37,6	76,3

Tabla 5.20. Saturaciones de los valores normalizados (scores) de mortalidad (Mort.Resp._mmc), contaminantes e Índices, por enfermedades del aparato Respiratorio, con media móvil centrada.

	Componente	
	1	2
Mort.Resp._mmc	-0,557	-0,051
CO_mmc	-0,379	0,821
NO_x_mmc	-0,334	0,871
NO₂_mmc	-0,079	0,785
SO₂_mmc	-0,262	0,684
PM10_mmc	0,509	0,748
O₃_mmc	0,677	-0,619
H_mmc	0,921	-0,271
ET_mmc	0,929	-0,281
NET_mmc	0,895	-0,381

5.4. CONCLUSIONES

El Análisis de Componentes Principales aplicado a los datos de mortalidad, contaminantes y variables meteorológicas por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio en Castilla-La Mancha permite lograr un primer modelo de dos factores. En el caso del sistema Circulatorio, el primer factor, que explica un 34,7% de la varianza, agrupa la temperatura, el ozono y la radiación. El segundo, que explica un 31,8% de la varianza, agrupa la mortalidad, todos los contaminantes, la presión y la humedad relativa. Similares resultados se obtienen para el sistema Respiratorio.

Son destacables los altos valores con los que los contaminantes saturan en el segundo factor, lo que confirma la bondad del método empleado. Así, para el sistema Circulatorio, se obtienen 0,778 para el CO, 0,797 para el NO_x, 0,737 para el NO₂, 0,693 para el SO₂, y 0,645 para PM10.

Aunque los coeficientes obtenidos para la mortalidad normalizada no sean altos, el positivo resultado alcanzado puede ayudar en la búsqueda de indicadores de salud pública que en el futuro puedan servir de aviso a las autoridades sanitarias. El hecho de que similares resultados se hayan obtenido tanto para enfermedades del aparato Circulatorio como para enfermedades del aparato Respiratorio refuerza tal idea.

El empleo de Índices biometeorológicos junto con los contaminantes en dicho Análisis de Componentes Principales mejora los resultados, ya que se obtienen, asimismo, dos factores. Para el sistema Circulatorio el primer factor, que explica un 38,2% de la varianza, agrupa el ozono y los Índices, en tanto que el segundo, que explica el 34,6% de la varianza,

agrupa la mortalidad y los contaminantes. Los resultados son similares en el sistema Respiratorio.

Son destacables los pesos de saturación de los Índices. Así, por ejemplo, en el Circulatorio, van de 0,922 (NET) a 0,944 (ET), por lo que cabe deducir que su empleo como indicador de alerta no carece de utilidad, a pesar de las críticas que en algunas ocasiones han recibido. El avance en la investigación de Índices constituye, por tanto, un campo de relevancia en la Biometeorología futura.

La inclusión de los contaminantes atmosféricos más habituales en el Análisis de Componentes Principales se revela positiva, habida cuenta de las dificultades que encuentran los investigadores en la actualidad para conseguir modelos que integren estos contaminantes de manera consistente. En esta línea, la aplicación del modelo aplicado en el precedente análisis Contaminantes-Índices puede ser útil como sistema de prevención sanitaria.

La presencia de apreciables correlaciones de contaminantes entre sí parece confirmar el carácter antropogénico de los mismos en zonas urbanas. Son de destacar, en la Tabla 5.1 valores tales como 0,842 (NO_x con CO), 0,628 (NO_2 con CO), 0,592 (NO_2 con NO_x), 0,621 (SO_2 con CO), 0,645 (SO_2 con NO_x), -0,724 (O_3 con CO), -0,748 (O_3 con NO_x), -0,511 (O_3 con NO_2), -0,539 (O_3 con SO_2). No obstante, estos valores pueden ser muy variables, ya que dependerán de las características particulares de la zona en estudio.

Las discrepancias obtenidas en el caso del ozono confirman la estacionalidad de todo el proceso mortalidad / variables atmosféricas / contaminantes, si bien no afecta a la utilidad del tratamiento realizado con los datos de partida. Al igual que concluyeron Smoyer et al. (2000) para

Pennsylvania, se puede afirmar, respecto de la zona en estudio del presente trabajo, que la presencia de ozono no debe ser ignorada en periodos de tiempo no extremos.

Con todo, la incidencia combinada de las variables atmosféricas en la mortalidad por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio es mayor que la de los contaminantes, algo que también se ha confirmado en otras áreas del planeta como la zona metropolitana de Sao Paulo en Brasil (Gonçalves et al., 2007) y Alabama en Estados Unidos (Smoyer et al., 2000).

5.5. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, H.R., Ponce de León, A., Bland, J.M., Bower, J.S., Strachan, D.P., 1996. Air pollution and daily mortality in London. *Br. Med. J.* **312**, 665–666.
- Auliciems, A., Frost, D., Siskind, V., 1997. The time factor in mortality: weather associations in a subtropical environment. *Int. J. Biometeorol.* **40**, 183–191.
- Ballester, F., Corella, D., Pérez-Hoyos, S., Sáez, M., Hervas, A., 1997. Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991–1993. *Int. J. Epidemiol.* **26**, 551–561.
- Bateson, T.F., Schwartz, J., 2004. Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality?: a case–crossover analysis of effect modifiers. *Epidemiology* **15**, 143–149.
- Bell, M., Dominici, F., 2008. Effect modification by community characteristics on the short-term effects of ozone exposure and mortality in 98 US communities. *American Journal of Epidemiology* **167**, 986–997.
- Boznar, M., Lesjak, M., Mlakar, P., 1993. A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain. *Atmos. Environ.* **27**, 221–230.
- Braga, A.L.F., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2001. The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *J. Occup. Environ. Med.* **43**, 927–933.
- Braga, A.L.F., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2002. Effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 US cities. *Environ. Health Perspect.* **110**, 9.

-
- Bremner, S.A., Anderson, H.R., Atkinson, R.W., McMichael, A.J., Strachan, D.P., Bland, J.M., et al., 1999. Short term associations between outdoor air pollution and mortality in London 1992–4. *Occup Environ Med.* **56**, 237–244.
- Cárdenas, M., Vallejo, M., Romano-Riquer, P., Ruiz-Velasco, S., Ferreira-Vidal, A., Hermosillo, A., 2008. Personal exposure to PM_{2,5} air pollution and heart rate variability in subjects with positive or negative head-up tilt test. *Environmental Research* **108**, 1–6.
- Chang, C.C., Tsai, S.S., Ho, S.C., Yang, C.Y., 2005. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Taipei, Taiwan. *Environ. Res.* **98**, 114–119.
- Charafeddine, R., Leslie, I., 2008. Does income inequality modify the association between air pollution and health? *Environmental Research* **106**, 81–88.
- Choi, K.S., Inou, S., Shinozaki, R., 1997. Air pollution, temperature, and regional differences in lung cancer mortality in Japan. *Arch. Environ. Health* **52**, 160–168.
- Comrey, A.L., 1985. *Manual de Análisis Factorial*. Madrid: Cátedra
- Crawford, V.L.S., McCann, M., Stout, R.W., 2003. Changes in seasonal deaths from myocardial infarction. *Q. J. Med.* **96**, 45–52.
- Curriero, F.C., Heiner, K.S., Samet, J.M., Zeger, S.L., Strug, L., Patz, J.A., 2002. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am. J. Epidemiol.* **155** (1), 80–87.
- Danet, S., Richard, F., Montaye, M., Beauchant, S., Lemaire, B., Graux, C., Cottel, D., Marecaux, N., Amouyel, P., 1999. Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. *Circulation* **100**, E1–E7.
- Dominici, F., McDermott, A., Zeger, S.L., Samet, J.M., 2002. On the use of generalised additive models in time-series studies of air pollution and health. *Am. J. Epidemiol.* **156**, 193–203.
- Dominici, F., Peng, R.D., Bell, M.L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S.L., Samet, J.M., 2006. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* **295**, 1127–1134.
- Dubowsky, S.D., Suh, H., Schwartz, J., Coull, B.A., Gold, D.R., 2006. Diabetes, obesity, and hypertension may enhance associations between air pollution and markers of systemic inflammation. *Environ. Health Perspect.* **114**, 992–998.
- Ebi, K.L., Exuzides, K.A., Lau, E., Kelsh, M., Barnston, A., 2004. Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983–1998. *Int. J. Biometeorol.* **49** (1), 48–58.
- Feldman, D.E., Platt, R., Dery, V., Kapetanakis, C., Lamontagne, D., Ducharme, A., Giannetti, N., Frenette, M., Beck, E.J., 2004. Seasonal congestive heart failure

-
- mortality and hospitalization trends, Quebec 1990–1998. *Epidemiol. Community Health* **58** (2), 129–130.
- Filleul, L., Le Tertre, A., Baldi, I., Tessiera, J.F., 2004. Difference in the relation between daily mortality and air pollution among elderly and all-ages populations in southwestern France. *Environmental Research* **94**, 249–253.
- Gagge, A.P., Nishi, Y., 1977. *Heat exchange between human skin Surface and thermal environment*. In: Lee, D.H.K. (Ed.), *Reactions to Environmental Agents; Handbook of Physiology*, Section 9, first ed. American Physiological Society, Bethesda Maryland, pp. 69–92.
- Glinianaia, S.V., Rankin, J., Bell, R., Pless-Mulloli, T., Howel, D., 2004. Particulate air pollution and fetal health: a systematic review of the epidemiologic evidence. *Epidemiology* **15**, 36–45.
- Gonçalves, F., Braun, S., Silva Dias, P.L., Sharovsky, R., 2007. Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of Sao Paulo. *Environmental Research* **104**, 275–281.
- González, F., Galán, M., Umbría, A., Gervilla, J., 2006. Multivariate statistical analysis of meteorological data in the “Campo de Gibraltar” region, Spain. *Environmental Monitoring and Assessment* **119**, 405–423. doi: 10.1007/s10661-005-9033-4.
- Grass, D., Cane, M., 2008. The effects of weather and air pollution on cardiovascular and respiratory mortality in Santiago, Chile, during the winters of 1988–1996. *Int. J. Climatol.* **28**, 1113–1126.
- Hajat, S., Haines, A., 2002. Associations of cold temperatures with GP consultations for respiratory and cardiovascular disease amongst the elderly in London. *Int. J. Epidemiol.* **31**, 825–830.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., Haines, A., 2002. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J. Epidemiol. Community Health* **56**, 367–372.
- Hu, W., Mengersen, K., McMichael, A., Tong, S., 2008. Temperature, air pollution and total mortality during summers in Sydney, 1994–2004. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 689–696.
- Jáuregui, E., 1988. Local wind and air pollution interaction in the Mexico basin. *Atmósfera* **1**, 131–140.
- Jerrett, M., Burnett, R.T., Brook, J., Kanaroglou, P., Giovis, C., Finkelstein, N., Hutchison, B., 2004. Do socioeconomic characteristics modify the short term association between air pollution and mortality? *Int. J. Biometeorol.* **51**, 87–96.
- Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustris, K., Asimakopoulos, D., Pouloupoulou, G., Trichopoulos, D., 1993. Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Arch. Int. Sci.* **48**, 235–242.

-
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, J., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R., 1997. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate mater on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *BMJ* **314**, 1658–1663.
- Keatinge, W., Donaldson, G.C., 2006. Heat acclimatization and sunshine cause false indications of mortality due to ozone. *Environmental Research* **100**, 387–393.
- Kim, H., Kim, Y., Hong, Y.C., 2003. The lag-effect pattern in the relationship of particulate air pollution to daily mortality in Seoul, Korea. *Int. J. Biometeorol.* **48**, 25–30.
- Kloner, R.A., Kenneth, P.W., Perritt, R.L., 1999. When throughout the year is coronary death most likely to occur. *Circulation* **100**, 1630–1634.
- Koken, P.J., Piver, W.T., Ye, F., Elixhauser, A., Olsen, L.M., Portier, C.J., 2003. Temperature, air pollution, and hospitalization for cardiovascular diseases among elderly people in Denver. *Environ. Health Perspect.* **111** (10), 1312–1317.
- Krupa, S.V., 2000. Ultraviolet B radiation, ozone and plant biology. *Environ. Pollut.* **118**, 193–194.
- Kysely, J., 2004. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int. J. Biometeorol.* **49**, 91–97.
- Lee, J.T., Shin, D., Chung, Y., 1999. Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea. *Environ. Health Perspect.* **107**, 149–154.
- Liang, W., Wei, H.Y., Kuo, H.W., 2008. Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan. *Environ Res.* Doi:10.1016/j.envres.2008.10.002
- Macfarlane, A., Waller, R.E., 1976. Short term increases in mortality during heat waves. *Nature* **264**, 434–436.
- Maheswaran, R., Haining, R.P., Brindley, P., Law, J., Pearson, T., Fryers, P.R., Wise, S., Campbell, M.J., 2005. Small-area level ecological study. Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. *Eur. Heart J.* **26**, 2543–2549.
- Mann, J.K., Tager, I.B., Lurmann, F., Segal, M., Quesenberry, C.P., Lugg, M.M., et al., 2002. Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ. Health Perspect.* **110**, 1247–1252.
- Marshall, R.J., Scragg, R., Bourke, P., 1988. An analysis of the seasonal variation of coronary heart disease and respiratory disease mortality in New Zealand. *Int. J. Epidemiol.* **17**, 325–331.

-
- Medina-Ramón, M., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2006. The effect of ozone and PM10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: a national multicity study. *Am. J. Epidemiol.* **163**, 579–588.
- Michalsen, A., Ludtke, R., Buhning, M., Spahn, G., Langhorst, J., Dobos, G.J., 2003. Thermal hydrotherapy improves quality of life and hemodynamic function in patients with chronic heart failure. *Am. Heart J.* **146** (4).
- O’Neill, M.S., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2003. Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. *Am. J. Epidemiol.* **157**, 1074–1082.
- O’Neill, M.S., Vees, A., Sarnat, J.A., Gold, D.R., Economides, P.A., Horton, E.S., Schwartz, J., 2005. Diabetes enhances vulnerability to particulate air pollution associated impairment in vascular reactivity and endothelial function. *Circulation* **111**, 2913–2920.
- Pandey, J., Agrawal, M., Khanam, N., Narayan, D., Rao, D.N., 1992. Air pollutant concentrations in Varanasi, India. *Atmos. Envir.* **26**, 91–98.
- Pan, W.H., Li, L.A., Tsai, M.J., 1995. Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese. *The Lancet.* **345**, 353–355.
- Panero, C., De Pablo, F., Sánchez, J.M., Tomás, C., 1997. Statistical modelling and prediction of pollutants in the urban atmosphere of Salamanca, Spain. *Int. J. Biometeorol.* **40**, 223–233.
- Pell, J.P., Cobbe, S.M., 1999. Seasonal variations in coronary heart disease. *Q. J. Med.* **92**, 689–696.
- Peters, A., Skorkovsky, J., Kotesvec, F., Brynda, J., Spix, C., Wichmann, H.E., Heinrich, J., 2000. Associations between mortality and air pollution in central Europe. *Environ. Health Perspect.* **108**, 283–287.
- Pinkerton, K.E., Joad, J.P., 2006. Influence of air pollution on respiratory health during perinatal development. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* **33**, 269–272.
- Pope, C.A., Dockery, D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* **56** (6), 709–742.
- Rainham, D.G.C., Smoyer-Tomic, K.E., Sheridan, S.C., Burnett, R.T., 2005. Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality. *International Journal of Environmental Health Researc.* **15** (5), 347–360.
- Ramsay, T.O., Burnett, R., Krewski, D., 2003. The effect of concurvity in generalised additive models linking mortality to ambient particulate matter. *Epidemiology* **14**, 18–23.
- Ren, C., Tong, S., 2006. Temperature modifies the health effects of particulate matter in Brisbane, Australia. *Int. J. Biometeorol.* **51**, 87–96.

-
- Roberts, S., 2004. Interaction between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environ. Res.* **96**, 328–337.
- Rooney, C., McMichael, A.J., Kovats, R.S., Coleman, M.P., 1998. Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave. *J. Epidemiol. Community Health* **52**, 482–486.
- Rothman, K.L., Greenland, S., 1998. *Modern Epidemiology* (2nd). Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia.
- Samet, J.M., Zeger, S., Kelshall, J., Xu, J., Kalkstein, L., 1998. Does weather confound or modify the association of particulate air pollution with mortality? An analysis of the Philadelphia data, 1973–1980. *Environ. Res.* **77**, 9–19.
- Schwartz, J., 2005. How sensitive is the association between ozone and daily deaths to control for temperature? *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. **171** (6), 627–631.
- Schwartz, J., Dockery, D.W., 1992a. Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *American Review of Respiratory Diseases* **148**, 600–604.
- Schwartz, J., Dockery, D.W., 1992b. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *American Journal of Epidemiology* **131** (1), 12–19.
- Seto, T.B., Mittleman, M.A., Davis, R.B., Taira, D.A., Kawachi, I., 1998. Seasonal variation in coronary artery disease mortality in Hawaii: observational study. *Br. Med. J.* **316**, 1946–1947.
- Sheth, T., Nair, C., Muller, J., Yusuf, S., 1999. Increased winter mortality from acute myocardial infarction and stroke: the effect of age. *J. Am. Coll. Cardiol.* **33**, 1916–1919.
- Shindo, J., Oi, K., Matsumoto, Y., 1990. Considerations on air pollution monitoring network design in the light of spatio-temporal variations of data. *Atmos. Envir.* **24 B**, 335–342.
- Shumway, R.H., Azari, A.S., Pawitan, Y., 1988. Modeling mortality fluctuations in Los Angeles as functions of pollution and weather effects. *Environmental Research* **45**, 224–241.
- Smoyer, K.E., Kalkstein, L.S., Greene, J.S., Ye, H., 2000. The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania. *Int. J. Climatol.* **20**, 881–897.
- Spencer, F.A., Goldberg, R.J., Becker, R.C., Gore, J.M., 1998. Seasonal distribution of acute myocardial infarction in the second national registry of myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* **31**, 1226–1233.
- Tomás, C., De Pablo, F., Egido, M., 1991. Análisis y predicción de la irradiación solar y la temperatura del aire mediante modelos estocásticos. *Rev. Geofís.* **47**, 107–115.

-
- Thurston, G.D., 1996. A critical review of PM10 — mortality time series studies. *Journal of Exposure and Analytic Environmental Epidemiology* **6**, 3–21.
- Yamamoto, N., Nishiura, H., Honjo, T., Ishikawa, Y., Suzuki, K., 1995. A long-term study of atmospheric ammonia and particulate ammonium concentrations in Yokohama, Japan. *Atmos. Envir.* **29**, 97–103.
- Welty, L.J., Zeger, S., 2005. Are the acute effects of particulate matter on mortality in the national morbidity, mortality, and air pollution study the result of inadequate control for weather and season? A sensitivity analysis using flexible distributed lag models. *Am. J. Epidemiol.* **162**, 80–88.
- Wong, T.W., Tam, W.S., Yu, T.S., Wong, A.H.S., 2002. Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China. *Occup. Environ. Med.* **59**, 30–35.
- Zanobetti, A., Schwartz, J., Samoli, E., Gryparis, A., Touloumi, G., Peacock, J., Anderson, R.H., Le Tertre, A., Bobros, J., Celko, M., Goren, A., Forsberg, B., Michelozzi, P., Rabczenko, D., Hoyos, S.P., Wichmann, H.E., Katsouyanni, K., 2003. The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ. Health Perspect.* **111**, 1188–1193.

Capítulo 6: CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

6.1. CONCLUSIONES

Del estudio realizado sobre la influencia del tiempo y de la contaminación atmosférica sobre enfermedades circulatorias y respiratorias en Castilla-La Mancha se desprenden las siguientes conclusiones:

a) Tipos de tiempo

- Al utilizar la metodología propuesta por Lamb para analizar la influencia del tiempo en la morbilidad y mortalidad de las enfermedades estudiadas, se han reducido, en cada periodo de estudio, las 26 situaciones iniciales, a un número menor (situaciones dominantes), que son las que superan la duración media de cada periodo analizado. Los

tipos de tiempo NE*, E, W, C y A son situaciones dominantes en todos los periodos de estudio considerados.

b) Morbilidad por enfermedades del Sistema Circulatorio

- El análisis estacional de la morbilidad revela que no existen diferencias significativas en las cuatro estaciones en el número de admisiones, por este motivo el estudio se centra en dos periodos diferentes: Cálido, de 1 de abril a 30 de septiembre; Frío, de 1 de octubre a 31 de marzo. En el periodo cálido las situaciones dominantes son NE (18,1%), E (4,8%), W (5,0%), NW (4,9%), N (13,1%), C (7,2%), A (16,9%), HANE (5,5%), HANW (4,1%) y HAN (6,1%). En el periodo frío son NE (5,1%), E (6,0%), SW (7,6%), W (7,7%), C (5,3%), A (29,2%), HASW (4,6%) y HAW (3,9%). La reducción de las 26 situaciones iniciales a las situaciones dominantes capta un 85,9% de los días en el periodo cálido y un 69,4% en el periodo frío.
- Para facilitar las comparaciones entre las diferentes series de tipos de tiempo en la morbilidad se define el Índice de Admisión diario por enfermedades del sistema Circulatorio (CAI). En el periodo cálido aparecen diferencias significativas ($p < 0,001$) entre los valores del CAI en domingo (menores) y los observados de lunes a viernes (mayores). En el periodo frío solo aparecen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores del jueves y viernes (mayores) y los del martes (menores).
- Al aplicar un análisis chi-cuadrado y otro de probabilidad condicional a los valores del CAI para establecer las diferencias entre el número de admisiones según la situación dominante, se revela una dependencia significativa ($p < 0,001$) de los valores del CAI en ambos periodos según

* La lista de Acrónimos se encuentra en la página XIII.

el tipo de tiempo, observándose que las probabilidades condicionales de los sucesos extremos ($CAI > 150$), son mayores para los tipos E, NW y A en el periodo cálido, y para las situaciones E en el periodo frío. Cuando se analiza el desfase (en días) de los valores del CAI según la situación, se observa que, en el periodo cálido, cuando ocurren las situaciones W, A y HAW, los valores del CAI son siempre iguales o superiores a la media, mientras que en el periodo frío, lo son con situaciones A.

- En cuanto a las secuencias de dos días de tipos de tiempo que originan elevados valores medios del CAI, se observa que en el periodo cálido las secuencias NE-NE y A-A son las de mayor frecuencia de aparición, y en el periodo frío lo son las A-A.

c) Morbilidad por enfermedades del aparato Respiratorio

- El análisis de la varianza aplicado a los valores estacionales revela que existe una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los valores de invierno y primavera con las otras estaciones, por lo que el estudio se centra en invierno y primavera. Se define el Índice de Admisión diario por enfermedades del aparato Respiratorio (RAI), y se determinan los valores medios diarios de dicho Índice, apareciendo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores de lunes a jueves (mayores) y los de fin de semana (menores). En invierno se retienen las situaciones dominantes NE (5,0%), E (5,9%), SE (4,6%), SW (5,7%), W (6,1%), C (4,3%), A (33,5%) y HASW (6,5%), que captan el 70,5% de los días. En primavera se retienen las situaciones dominantes NE (11,0%), E (5,9%), SW (7,1%), W (7,0%), N (6,5%), C (7,3%), A (24,7%) y HANW (3,9%), que captan el 73,4% de los días.

-
- El análisis Chi-cuadrado revela una dependencia de los valores del RAI ($p < 0,001$) según el tipo de tiempo, y el análisis de probabilidad condicional da origen a que en invierno los sucesos extremos ($\text{RAI} > 150$) se registran con situaciones SW, A y HASW, mientras que en primavera no hay diferencias. Por otra parte, en invierno, cuando ocurre la situación A, los valores del RAI son mayores que 100 cuando los desfases son de 0, 1, 2 y 3 días, mientras que en primavera lo son con situaciones SW y A. Asimismo, la secuencia de dos días de situaciones A-HASW es la que origina mayores valores medios del RAI en invierno, en tanto que la A-A registra los mayores valores medios del RAI en primavera.

d) Mortalidad por enfermedades del aparato Circulatorio

- Los Índices que presentan mayor correlación, con el número de fallecimientos por enfermedades del aparato Circulatorio son ET (0,543), RSI (0,540) y AT (0,542), en los tres casos con significación bilateral ($p < 0,01$). La aplicación del Análisis de Componentes Principales a la matriz formada por el número total de muertes, variables atmosféricas y contaminantes da origen a dos componentes después de la rotación Varimax, que explican respectivamente el 34,7% y el 31,9% de la varianza. La primera componente está relacionada con O_3 , temperatura y radiación, la segunda componente está relacionada con el CO, NO_x , NO_2 , SO_2 , PM10, presión y humedad relativa. Ambas componentes presentan bajos valores con el número total de fallecimientos.
- Por otra parte, la aplicación del Análisis de Componentes Principales a la matriz de valores diarios de fallecimientos, contaminantes e Índices H, ET y NET origina también dos componentes (de varianza total explicada 38,2% y 34,6%, respectivamente). La primera componente presenta altos

pesos con los tres Índices, y la segunda con los contaminantes; caso especial es el del ozono, pues presenta pesos similares en valor absoluto, pero positivo el de la primera componente y negativo el de la segunda.

e) Mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio

- Los Índices que presentan mayor correlación, con la mortalidad por enfermedades del aparato Respiratorio son ET (0,629), RSI (0,629) y NET (0,629), en los tres casos, con significación bilateral ($p < 0,01$). La aplicación del Análisis de Componentes Principales a la matriz formada por el número total de muertes, variables y contaminantes da origen a dos componentes, que explican el 36,0% y 31,1% de la varianza respectivamente. La primera componente presenta altos pesos con el ozono y las variables atmosféricas, excepto con la presión y la humedad relativa; la segunda componente presenta altos pesos con los demás contaminantes y la presión. Ambas componentes presentan pequeños pesos y de signo opuesto con la mortalidad.
- Por otra parte, la aplicación del Análisis de Componentes Principales a la matriz formada por valores diarios de mortalidad, contaminantes e Índices da origen a dos componentes, tras la rotación Varimax. La primera componente explica el 41,5% de la varianza total, y la segunda el 31,5%. La primera presenta altos pesos con los Índices H, ET y NET; la segunda componente presenta altos pesos con los contaminantes. Al igual que en la mortalidad por enfermedades del sistema Circulatorio, el ozono presenta altos pesos en valor absoluto en ambas componentes, con signo positivo en la primera y negativo en la segunda. El empleo de media móvil centrada de amplitud 3 aumenta ligeramente los pesos en la mortalidad por enfermedades de los sistemas Circulatorio y Respiratorio.

6.2. PERSPECTIVAS

El trabajo realizado podría ampliarse en líneas de investigación de claro interés. Por ejemplo, cabría tener en cuenta los rangos de temperatura diarios, así como valores extremos, y no solo valores medios, especialmente en estudios de morbilidad. Se mejoraría con ello el conocimiento de los umbrales termométricos de mortalidad en núcleos de población con características diversas, campo de investigación poco desarrollado hasta el presente. Se podría ampliar la investigación estratificando por sexo y grupos de edad.

Asimismo, se debería ampliar el estudio de las diferencias en los incrementos de mortalidad por persistencia de altas temperaturas, en grupos particularmente sensibles: diabéticos, pacientes medicados con diuréticos, enfermos mentales etc.

El estudio de los Índices biometeorológicos aplicados al estudio de la mortalidad plantea la posibilidad de la creación de nuevos Índices que mejoren los anteriores. La inclusión de más variables meteorológicas, así como de contaminantes atmosféricos, constituye una parcela de investigación en Biometeorología sobre la que existen pocos artículos hasta ahora. La aplicación de tales estudios a periodos temporales estacionales posiblemente contribuyese a mejorar los resultados.

Asimismo, la potencia de las herramientas estadísticas utilizadas permite el estudio de los efectos de variables y contaminantes sobre la mortalidad, con desfases mayores a los estudiados en la presente Memoria en el capítulo de la morbilidad. Este punto adquiere particular relevancia en la mortalidad asociada con el frío, tanto para patologías circulatorias como respiratorias. Es mi deseo seguir investigando en esta línea con el grupo de trabajo en el que se ha desarrollado el presente estudio.

También se debería indagar acerca de modelos generalizados que incluyesen variables atmosféricas y contaminantes. Puede añadirse que una investigación como la realizada serviría para profundizar en la influencia de las PM_{2,5} en la morbilidad y mortalidad de patologías circulatorias y respiratorias. Este tipo de partículas son especialmente dañinas, y, sin duda, tal trabajo no carecería de interés. En este sentido, serían convenientes investigaciones sobre la relación entre mortalidad por patologías respiratorias y concentraciones de PM_{2,5} en grandes ciudades y zonas industriales.

Finalmente resulta necesario poner de manifiesto las posibles aplicaciones de la investigación expuesta, así como las posibles líneas de estudio en el futuro. En este sentido es bien conocido el interés que concitan los estudios sobre todo lo relacionado con la salud humana. Más concretamente, se podría profundizar en el conocimiento de los mecanismos por los que el frío contribuye al desarrollo de las patologías cardiovasculares e infecciones respiratorias. Las interacciones entre todos estos factores (por ejemplo, el aumento de la actividad del fibrinógeno en invierno, la vasoconstricción favorecida por las bajas temperaturas etc.) han de ser mejor conocidas.

Las medidas preventivas, que han de ser impulsadas por las autoridades sanitarias, comprenden actuaciones, tanto con respecto a la población en general, como sobre grupos de riesgo específicos. Por ello cobra particular importancia la educación sanitaria, en especial dirigida a colectivos como pueden ser las personas de edad avanzada, los niños, los afectados por patologías crónicas cardiovasculares o respiratorias etc.

En el terreno de lo concreto, cabría plantearse la puesta en marcha de sistemas de vigilancia meteorológica encaminados a reducir el impacto que

sobre la población tienen los factores de riesgo estudiados en el presente trabajo. Tales factores no son solo las temperaturas elevadas, fenómeno bien conocido y de amplia repercusión mediática en el contexto de las olas de calor y del calentamiento global, sino otros de mayor incidencia real en la actualidad. Así, los estudios sobre las relaciones entre los tipos de tiempo con las admisiones hospitalarias y la mortalidad podrían ser útiles para la prevención de situaciones de riesgo, como las ya analizadas: secuencias de determinadas situaciones meteorológicas junto con bajas temperaturas en periodos fríos, persistencia de tipos de tiempo poco frecuentes pero de acusada incidencia epidemiológica etc. La aplicación del Análisis de Componentes Principales facilitaría el tratamiento estadístico de problemas con tan gran cantidad de datos.

El uso de Índices biometeorológicos puede ser de gran ayuda. Todos los evaluados en la presente investigación pueden considerarse satisfactorios. Sus regularidades temporales y sus correlaciones con la mortalidad, tanto en patologías cardiovasculares como en respiratorias, proporcionan una línea de trabajo para su aplicación en sistemas de salud pública.

La acción de los contaminantes constituye un problema de no fácil tratamiento, pues los resultados en relación con la mortalidad no son consistentes en los estudios que se realizan, debido a las muy diferentes tasas de gases y partículas de las zonas investigadas. Por ello, el Análisis de Componentes Principales puede contribuir a obtener conclusiones relevantes cuando el empleo de otras técnicas no haya sido suficiente.

Las técnicas utilizadas en la presente Memoria podrían ser de aplicación en ciertos problemas estudiados hasta hoy en la literatura epidemiológica sin resultados concluyentes. Así, en diversos estudios se ha

constatado que las temperaturas extremas parecen incrementar el riesgo de nacimientos prematuros. Los mecanismos que rigen este y otros efectos constituyen, sin duda, un campo importante de investigación biometeorológica, cuyo conocimiento posiblemente mejorase si se integraran factores como las variables atmosféricas y los contaminantes.