



Impactos del Cambio Climático en la Salud



Publicación de la Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación en el marco de las funciones asignadas al Observatorio de Salud y Cambio Climático realizado por los expertos designados por su Comité de Dirección.

Edita y Distribuye:

@ MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD

Centro de Publicaciones

Paseo del Prado, 18. 28014 Madrid

Nipo: 680-13-103-9

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

El Copyright y otros derechos de la propiedad intelectual de este documento pertenecen al Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Se autoriza a las organizaciones de atención sanitaria a reproducirlo total o parcialmente para su uso no comercial, siempre que se cite el nombre completo del documento, año e institución.

Comité de Dirección Observatorio de Salud y Cambio Climático:

Vinuesa Sebastián, Mercedes M.

Directora General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Magro Andrade, Susana

Directora General de la Oficina Española de Cambio Climático
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Carreras Vaquer, Fernando

Subdirector General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

González Fernández, Eduardo

Subdirector General de Coordinación de Acciones frente al Cambio Climático
Oficina Española de Cambio Climático
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Alonso Capitán, Margarita

Consejera Técnica de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Coordinación, revisión y edición:

Alonso Capitán, Margarita

Consejera Técnica
Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación

Vázquez Torres, María C.

Técnico Superior
Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación

Listado de expertos:

Aguayo Balsas, Sonia M.

Centro Nacional de Sanidad Ambiental. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Amela Heras, Carmen

Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES)
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Ballester Díez, Ferrán

Universidad de Valencia
Centro Superior de Investigación en Salud Pública CSISP-FISABIO
Generalitat Valenciana. CIBERESP

Basagaña Flores, Xavier

Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental
Generalitat de Catalunya

Cabello Gómez, Ángels

Centro Tecnológico del Agua (CETaqua)

Cano Portero, Rosa

Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Cárdaba Arranz, Mario

Gerencia Regional de Salud de Castilla y León (SACYL)
Dirección General de Asistencia Sanitaria
Dirección Técnica de Atención Especializada
Servicio de Cartera y Nuevas Tecnologías

Díaz Jiménez, Julio

Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Estrada Peña, Agustín

Departamento de Patología Animal (Sanidad Animal)
Universidad de Zaragoza

Feo Brito, Francisco

Hospital General Universitario de Ciudad Real
Consejería de Sanidad y Asuntos Sociales, Castilla la Mancha

Galán Soldevilla, Carmen

Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal
Universidad de Córdoba

García Dos Santos-Alves, Saúl

Centro Nacional de Sanidad Ambiental. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

García Gómez, M^a Concepción

Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua
Dirección General del Agua
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Grimalt Obrador, Joan

Centro de Investigación y Desarrollo "Josep Pascual Vila"
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ministerio de Economía y Competitividad

Guillén Pérez, José Jesús

Servicio de Salud Pública del Área de Salud en Cartagena
Región de Murcia

Iñiguez Hernández, Carmen

Centro Superior de Investigación en Salud Pública CSISP-FISABIO
Generalitat Valenciana. Universidad de Valencia. CIBERESP

Jansà López de Vallado, Josep María

European Centre for Disease Prevention and Control
Unión Europea

Linares Gil, Cristina

Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

López Rodas, Victoria

Departamento de Genética
Universidad Complutense de Madrid

López-Vélez Pérez, Rogelio

Servicio de Enfermedades Infecciosas. Hospital Ramón y Cajal
Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid

López Villarrubia, Elena

Unidad de Salud Ambiental. Dirección General de Salud Pública
Gobierno de Canarias

Lucientes Curdi, Javier

Departamento de Patología Animal
Universidad de Zaragoza

Martínez González Cristina

Hospital Universitario Central de Asturias
Facultad de Medicina. Universidad de Oviedo

Martínez Juárez, Guadalupe

Sección de Salud Ambiental. Instituto de Ciencias de la Salud de Talavera de la Reina
Junta de Comunidades Castilla La Mancha

Matías Ribot, Leonard
Aguas de Barcelona

Mirón Pérez, Isidro Juan
Distrito de Salud de Torrijos
Consejería de Salud y Bienestar Social de Castilla-La Mancha

Molina Moreno, Ricardo
Centro Nacional de Microbiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Montero Rubio, Juan Carlos
Instituto de Ciencias de la Salud
Consejería de Salud y Bienestar Social de Castilla-La Mancha

Ordóñez Iriarte, José María
Dirección General de Ordenación e Inspección
Consejería de Sanidad, Comunidad de Madrid

Palau Miguel, Margarita
Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Roche Royo, Jesús
Centro de Vacunación Internacional de Madrid
Área Funcional de Sanidad de la Delegación del Gobierno en Madrid
Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas

Roset Álvarez, Jaime
Consultor independiente
Calidad de Aguas, Cambio Climático y Sanidad Ambiental

Ruiz Sierra, Ana
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y Mar
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Sánchez Serrano, Luisa
Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Simón Soria, Fernando
Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES)
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Soriano Ortíz, Cecilia
Departamento de Física e Ingeniería Nuclear
Universidad Politécnica de Cataluña

Soriano Ortiz, Joan B.
Fundación Caubet-Cimera
Islas Baleares

Tobías Garcés, Aurelio
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ministerio de Economía y Competitividad

Vázquez Torres, María C.
Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Villanueva Belmonte, Cristina
Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental
Generalitat de Catalunya

Asistencia Técnica:
TRAGSATEC

ÍNDICE:

Presentación	11
Acrónimos	13
Lista de figuras	17
Lista de tablas	19
1. Introducción	21
2. Antecedentes.....	25
3. Metodología	31
4. Algunos datos	35
5. Principales efectos en salud del cambio climático	39
I. Temperaturas extremas	41
II. Calidad del agua	71
III. Calidad del aire	119
IV. Enfermedades de transmisión vectorial	183



Presentación


En la actualidad existe un consenso científico generalizado, en torno a la idea de que la salud humana y el bienestar están íntimamente vinculados a la calidad ambiental. En los últimos años el tema del cambio climático como determinante de los factores ambientales y por lo tanto de la salud de las poblaciones, ha cobrado especial relevancia dando lugar a numerosas estrategias sanitarias tanto por parte de las administraciones públicas de los diferentes países como por organismos internacionales.

Los elementos que determinan la salud de las poblaciones son muy diversos e interactúan de modo complejo, por lo que resulta prioritario profundizar en el conocimiento de su impacto y la vulnerabilidad de la población a ellos, particularmente en lo que respecta a la salud de las personas. En este contexto, el estudio de los impactos del cambio climático en la salud de la sociedad española, permitirá diseñar e integrar medidas de adaptación en las políticas de planificación y gestión sanitarias y adelantar estrategias de protección y prevención en la medida de lo posible a sus efectos.

El presente informe elaborado por el Observatorio de Salud y Cambio Climático, describe una serie de cuestiones ambientales con una reconocida influencia directa en la salud y el bienestar. Se abordan aspectos tan relevantes como los efectos que las temperaturas extremas expresadas como olas de calor y de frío, la calidad del aire o del agua y la posible propagación de enfermedades, tienen sobre la morbi-mortalidad de la población.

La Organización Mundial de la Salud ha advertido que la salud de millones de personas podría verse amenazada por el aumento de enfermedades como el paludismo, la desnutrición, y otras transmitidas por el agua. En la mayoría de los estudios científicos, y en este informe así se recoge, se proyectan los efectos que el cambio climático tendrán sobre la salud de la población. Cabe destacar que España es especialmente vulnerable al cambio climático por su situación geográfica y características socioeconómicas.

En septiembre de 2013 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), ha aprobado el volumen I del Quinto Informe de Evaluación (WGI-AR5) que describe y sintetiza el conocimiento actual sobre los aspectos científicos físicos del sistema climático y el cambio climático. Dicho informe confirma que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que la influencia humana es el factor dominante de este cambio y complementa con sus resultados esta publicación sobre impactos del cambio climático en la salud, ofreciendo una oportunidad para continuar con los trabajos en este ámbito, proporcionando una sólida base para implementar políticas sectoriales en el campo de la adaptación al cambio climático en la salud.



No obstante, es importante no olvidar que los datos hoy disponibles predicen situaciones futuras bajo unas premisas particulares sobre el clima, las condiciones socioeconómicas y la vulnerabilidad de la población. Por tanto, las proyecciones pueden diferir notablemente entre modelos, lo que obliga a trabajar con ciertas dosis de incertidumbre.

Para la lucha y adaptación frente al cambio climático es imprescindible el asesoramiento científico y técnico continuado que permita dar respuestas a los efectos que el cambio climático tiene y podría tener sobre la salud. Este informe pretende recopilar las evidencias más actuales en aquellos temas ambientales priorizados y proveer el soporte técnico- científico necesario para la toma de decisiones acertadas para enfrentar el cambio climático.

Desde el Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, agradecemos el constante esfuerzo y generosidad de los expertos que han participado en la elaboración de este documento.

Queremos finalizar animando a toda la sociedad a participar activamente en el reto que supone la adaptación al cambio climático y a la comunidad científica a continuar con su valiosa labor investigadora.

Directora General
Salud Pública, Calidad e Innovación

Directora General
Oficina Española de Cambio Climático

Acrónimos

ACACIA: A Concerted Action towards a Comprehensive Climate Impacts and Adaptations Assessment for the European Union	CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
ADN: Ácido desoxirribonucleico	CEHAFE: Children's Environment and Health Action Plan for Europe
AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente	CEPE: Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas
AEMET: Agencia Estatal de Meteorología	CHIKV: Virus Chikungunya
AFNOR: Agencia Francesa de Normalización	CIP: Centro Península Ibérica
AGE: Administración General del Estado	CIS: Centro de Investigaciones Sociológicas
AIRNET: Red Europea de contaminación atmosférica y salud	CLRTAP: Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia
AIS: Aerosoles Inorgánicos Secundarios	CMAQ: Community Multiscale Air Quality
APPCC: Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico	CMBD: Conjunto Mínimo Básico de Datos
ARN: Ácido ribonucleico	CO: Monóxido de Carbono
ARPSIs: Áreas de Riesgo Potencial Significativo por Inundación	CO2: Dióxido de Carbono
As: Arsénico	COV: Compuestos Orgánicos Volátiles
BaP: Benzopireno	COVNM: Compuestos Orgánicos Volátiles No Metano
BMI: Índice de Masa Corporal (siglas en inglés)	CRSA: Centre de Recerca en Sanitat Animal
CAFE: Programa Aire Limpio para Europa	DALYs: Años de vida ajustados por discapacidad
CALIOPE: Sistema de Pronóstico de la Calidad del aire Operacional para España	DFID: Department for International Development
CAPV: Comunidad Autónoma del País Vasco	DMA: Directiva Marco del Agua
CCHF: Fiebre Hemorrágica de Crimea-Congo (siglas en inglés)	EAN: European Aeroallergen Network
CCPCC: Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático	ECDC: Centro Europeo de Control de Enfermedades
CCS: Consorcio de Compensación de Seguros	EDAR: Estación depuradora de aguas residuales
Cd: Cadmio	EEA: Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency)
CDC: Centro de Control de Enfermedades	
CE: Comisión Europea	

EEUU:	Estados Unidos	IHD:	Enfermedad Isquémica del Corazón (siglas en inglés)
EFA:	Federación Europea de Asociaciones de Pacientes con Alergia y Enfermedades Respiratorias	IME:	Indicador Medio de Exposición
EGR:	Recirculación de gases de emisión (siglas en inglés)	INE:	Instituto Nacional de Estadística
EMECAS:	Estudio Multicéntrico en España de los Efectos a Corto Plazo de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud	INMA:	Infancia y Medio Ambiente
ENOA :	El Niño / Oscilación Austral	IPCC:	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (Intergovernmental Pannel on Climate Change)
EPA:	Encuesta de Población Activa	ISAAC:	International Study of Asthma and Allergy in Childhood
EPOC:	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	I:	Litro
EPRI:	Evaluación preliminar de los riesgos de inundación	LC:	Leishmaniasis Cutánea
E-PRTR:	Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes	Lcan:	Leishmaniasis Canina
ETAP:	Estación de Tratamiento de Agua Potable	LCR:	Líquido cefalorraquídeo (actualmente llamado líquido cerebroespinal)
FAN:	Floración de algas nocivas	LRI:	Infecciones respiratorias inferiores (siglas en inglés)
F-gases:	Gases que contienen flúor	LRTAP:	Convención Long-range Transbounday Air Pollution
FPG:	Glucosa Plasmática en Ayunas (siglas en inglés)	LV:	Leishmaniasis Visceral
FSUE:	Fondo de Solidaridad de la Unión Europea	m.s.n.s.:	Metros sobre el nivel del suelo
FVR:	Fiebre del Valle del Rift	MAGRAMA:	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
GCAC:	Coalición para el Clima y el Aire Limpio	MARM:	Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino
GEI:	Gases de efecto invernadero	MIB:	2 -metilisoborneol
H2O2:	Peróxido de hidrógeno	MICRODIS:	Impactos Sanitarios, Sociales y Económicos Integrados de los Eventos Extremos
HAP:	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	MIMAM:	Ministerio Medio Ambiente
Hg:	Mercurio	ml:	Mililitro
HONO:	Ácido nitroso	MODELO CHIMERE:	Predicción de calidad del aire en Europa
I+D+i:	Investigación + Desarrollo + innovación	MSSSI:	Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad
IDT:	Investigación y Desarrollo Tecnológico	NAYADE:	Sistema de Información Nacional de Aguas de Baño
IGAC:	International Global Atmospheric Chemistry	NE:	Nefropatía epidémica

NEIP: Norte-Este Península Ibérica	PNACC: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
Ni: Níquel	PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
NMMAPS: National Mortality and Morbidity Air Pollution Study	POCS: Plan de Actuación para Prevenir los Efectos de la Ola de Calor sobre la Salud
NO: Monóxido de nitrógeno	ppb: Partes por billón
NO₂: Dióxido de nitrógeno	ppm: Partes por millón
NOx: Óxido de nitrógeno	Programa APHEIS: Contaminación atmosférica y salud: Un sistema de información europeo (Air Pollution and Health)
O₂: Oxígeno	Proyecto APHEA: Efectos a Corto Plazo de la Contaminación del Aire y la Salud: Un enfoque Europeo (Air Pollution and Health)
O₃: Ozono	Proyecto ECCE: Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático
OECC: Oficina Española de Cambio Climático	Proyecto EDEN: Enfermedades Emergentes en un Medio Europeo Cambiante
OMM: Organización Mundial de Meteorología	Proyecto EuroHEAT: Improving Public Health Responses to Extreme Weather/ Heat-waves
OMS: Organización Mundial de la Salud (WHO siglas en inglés)	Proyecto MED-PARTICLES: Tamaño y composición de las partículas en los países mediterráneos: variabilidad geográfica y efectos a corto plazo sobre la salud (Particles size and composition in Mediterranean countries: geographical variability and short-term health effects)
OSCC: Observatorio de Salud y Cambio Climático	Proyecto SERCA: Sistema de Evaluación de Riesgos por Contaminación Atmosférica
PCB: Policlorobifenilos	PSA: Planes Sanitarios del Agua
PCDD/F: Dibenzo-p-dioxinas y Dibenzofuranos policlorado	RBMP: Planes de Medidas de Cuenca (siglas en inglés)
PHASE: Estrategias de adaptación en Salud Pública para los eventos climáticos extremos (<i>Public Health Adaptation Strategies to Extreme Weather Events</i>)	RD: Real Decreto
PHEWE: Evaluación y Prevención de los efectos agudos en salud por las condiciones climáticas en Europa (<i>Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather Conditions in Europe</i>)	REA: Red Española de Aerobiología
PI: Península Ibérica	RENAVE: Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica
PIGB: Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera	
Plan AIRE: Plan Nacional de calidad del aire y protección de la atmósfera 2013-2016	
PM_{2,5} Amb: Ambiente contaminado por material particulado	
PM: Material particulado (particulate matter)	

REVIHAAP: Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution	VGR: Virus Granada
SAIH: Sistema Automático de Información Hidrológica	VL: Valores límite
SIA: Aerosoles Inorgánicos Secundarios	VTOS: Virus Toscana
SINAC: Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo	WNV: Virus del Nilo Occidental (siglas en inglés)
SLCFs: Forzadores climáticos de corta duración (short-lived climate forcers)	ZA: Zona de abastecimiento
s.l.: <i>sensu lato</i>	µg/l: Microgramo/litro
SO₂: Dióxido de azufre	
SO_x: Óxido de azufre	
spp: Subespecie	
SREX: Informe Especial sobre la Gestión de Riesgos de Episodios Extremos y Desastres para Avanzar en la Adaptación al Cambio Climático (siglas en inglés)	
Tair: Temperatura del aire	
T_{app}: Temperatura aparente	
T_{appmax}: Temperatura máxima aparente	
TBE: Encefalitis por garrapatas (siglas en inglés)	
T_{dewpt}: Temperatura del punto de rocío	
T_{min}: Temperatura mínima	
THM: Trihalometanos	
UE: Unión Europea	
UNE: Una Norma Española	
UNECE: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	
UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	
UNT: Unidades nefelométricas de turbidez	
USUV: Virus Usutu	
VBORNET: European Network for Arthropod Vector Surveillance for Human Public Health	

LISTA DE FIGURAS:

<i>Figura 1. Impactos en Salud del Cambio Climático.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2. Cambios observados en: a) el promedio mundial de la temperatura en superficie, b) el promedio mundial del nivel del mar según datos mareográficos (azul) y satelitales (rojo,) y c) la cubierta de nieve del hemisferio norte en el período marzo-abril. Todas las diferencias han sido obtenidas respecto de los promedios correspondientes al período 1961-1990</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3. Censo de población. Proyecciones de la población española</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4. Variación del promedio de escorrentía (%) para el periodo 2011-2040 respecto al periodo de control para las proyecciones A2.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5. Variación del promedio de escorrentía (%) para el periodo 2011-2040 respecto al periodo de control para las proyecciones B2.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 6. Brotes de transmisión hídrica. España 1999 - 2006</i>	<i>82</i>
<i>Figura 7. Evolución de la detección de microcistina (µg/L) en agua de consumo. España 2003-2011.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 8a. Calificación sanitaria de aguas de baño continentales (ríos, embalses, lagos). España 1990-2012.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 8b. Calificación sanitaria de aguas de baño marítimas. España 1990-2012.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 9. Evolución de los valores medios de THM salida ETAP Sant Joan Despí. Años 2004-2005.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 10. Planta de potabilización de Abrera. Aguas Ter Llobregat. Barcelona.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 11. Mapa de déficit (hm3/año) en los sistemas de explotación</i>	<i>97</i>
<i>Figura 12. Mapa de riesgo de escasez en los sistemas de explotación.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 13. Personas (por millón) afectadas por inundaciones y movimientos de masas de agua</i>	<i>99</i>
<i>Figura 14. Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Diciembre 2010.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 15. Evolución del número de usuarios profesionales dados de alta en el sistema SINAC 2003-2013.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 16. Comparación de la magnitud de las diez principales enfermedades y lesiones, y los diez principales factores de riesgo en función del porcentaje de muertes en el mundo y el porcentaje de DALYs, 2010.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 17. Zonas españolas con el aire menos saludable en 2011</i>	<i>143</i>
<i>Figura 18. Relación entre contaminación e ingresos de urgencia por enfermedades cardiovasculares.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 19. Población urbana (%) expuesta a contaminación atmosférica que supera los valores estándares de calidad de UE. Año 2001-2010.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 20. Población urbana (%) expuesta a contaminación atmosférica que supera los valores de calidad recomendados por OMS. Año 2001-2010.....</i>	<i>145</i>

<i>Figura 21. Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud</i>	<i>154</i>
<i>Figura 22. Distribución de Anopheles atroparvus en España (los puntos indican presencia)</i>	<i>196</i>
<i>Figura 23. Distribución geográfica de Phlebotomus perniciosus y Phlebotomus ariasi en España</i>	<i>199</i>
<i>Figura 24. Distribución conocida actual de Aedes albopictus, Europa. Marzo 2013.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 25. Ciclo biológico del Virus del Nilo Occidental</i>	<i>205</i>
<i>Figuras 26 y 27. Distribución de la garrapata H. marginatum en la cuenca mediterránea y distribución esperada con el clima histórico actual.....</i>	<i>212</i>
<i>Figura 28. Distribución Ixodes ricinus. Marzo 2013.....</i>	<i>213</i>

LISTA DE TABLAS:

<i>Tabla 1. Temperaturas umbrales establecidas (máxima y mínima) para todas las provincias españolas, año 2013.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2. Niveles de riesgo</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3. Niveles de Riesgo de Comunidad de Madrid.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4. Porcentaje de personas con más de 64 años de edad, por provincia y ciudad autónoma, en orden creciente</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5. Evolución de la población mayor. España 1900-2050 (miles)</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6. Relación de microorganismos seleccionados según tasa de eliminación y reducción en nº de días</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 7. Distribución porcentual de boletines según calificación sanitaria. 2008-2011</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 8. Distribución porcentual de boletines aptos según tipo de análisis. 2008-2011</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 9. Resumen de patógenos y su relevancia en salud</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 10. Clasificación de principales toxinas.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 11. Vías de Transmisión y Exposición a cianobacterias.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 12. Valor de referencia agua de baño.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 13. Evolución interanual España 2011-2012 (Directiva 2006/7/CE)</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 14. Distribución de la siniestralidad pagada por causa de siniestro en daños de bienes. Serie 1987-2011</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 15. Proporción de DALYs (Disability Adjusted Life Years) en determinadas enfermedades.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 16. Resultados de la evaluación de impacto en salud en términos de reducción potencial en el número de muertes atribuibles y tasas por 100.000 habitantes.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 17. Contaminantes químicos y sus fuentes</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 18. Efectos sobre la salud de la contaminación en función del tiempo de exposición contaminación atmosférica</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 19. Prevalencia de enfermedades en el año 2011 a nivel mundial</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 20. Valores recomendados de contaminantes atmosféricos en las Directrices de la OMS y la Directiva Europea. (Directiva 2008/50/CE).....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 21. Población urbana (%) en Unión Europea (UE) expuesta a concentraciones de contaminantes superiores a los niveles establecidos (2008-2010).....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 22. Zonas españolas evaluadas para Calidad de Aire según superación de valores por contaminantes evaluados</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 23. Reducción (%) en emisiones de contaminantes entre 2001-2010 en UE.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 24. Principales problemas relacionados con el medio ambiente a nivel local y nacional (%).....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 25. Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud humana, el medio ambiente y el clima.....</i>	<i>171</i>





1

INTRODUCCIÓN

Introducción

Por *Cambio Climático* se entiende la variación global del clima del planeta, originada por causas naturales y por la acción del hombre que se producen a diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc.

En la actualidad existe consenso en la comunidad científica en torno a la idea de que el modo de producción y consumo energéticos y los cambios de uso de la tierra están generando una alteración climática global, que provocará a su vez, serios impactos tanto sobre los sistemas naturales como sobre sectores sociales y económicos.

En el año 2001, el Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) ya evidenciaba en base a las observaciones de los sistemas físicos y biológicos que los cambios regionales en el clima, estaban afectando a diferentes sistemas y en distintas partes del planeta. Señalaba un aumento de la temperatura en promedio en torno a 0,6°C en el siglo XX así como el aumento del nivel del mar entre 10 y 12 cm.

En 2007, en el Cuarto Informe de Evaluación de IPCC, se advertía que el calentamiento del sistema climático era inequívoco y que con un 90% de certeza se debía a la acción humana; hecho que ha contribuido a situar el calentamiento global en las agendas de los gobiernos mundiales. En Europa los efectos del cambio climático ya se han comenzado a sentir. Según se recoge en el informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) "*Climate change, impacts and vulnerability in Europe, 2012*", el incremento térmico en Europa en la última década ha sido de 1,3°C sobre el nivel preindustrial, lo que la hace la década más cálida desde que existen registros. Diferentes estudios realizados han identificado zonas vulnerables a los efectos del cambio climáti-

co en Europa, siendo España y toda la costa mediterránea una de las más vulnerables.

El impacto potencial del cambio climático es enorme, no se trata de un fenómeno sólo de naturaleza ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales y para las que los países menos desarrollados están peor o nada preparados.

El cambio climático puede afectar a la salud directa e indirectamente. En el primer caso se incluyen los cambios en la temperatura, las precipitaciones y los eventos climáticos extremos, que afectan a cada individuo. De modo indirecto puede afectar las vías de transmisión de enfermedades, la disponibilidad de agua y alimentos y la calidad del aire que respiramos (*figura 1*).

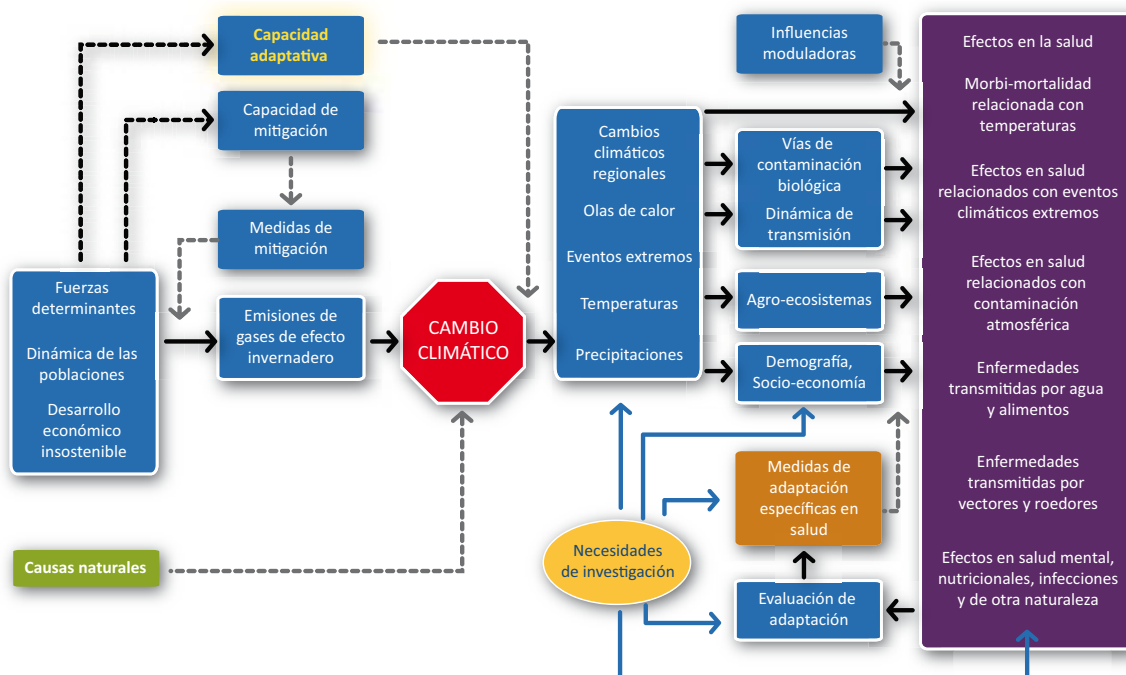
La evidencia actual muestra que los efectos en la salud humana consecuencia del cambio climático, pueden ser tanto positivos como negativos incluso cuando se analiza el mismo factor.

Entre los efectos positivos puede señalarse el hecho de que en algunas regiones del mundo el incremento de la temperatura puede contribuir a disminuir la transmisión de ciertas enfermedades como el paludismo o la supervivencia de ciertos vectores, o la disminución de la tasa de morbilidad por episodios de frío intenso.

Entre los efectos negativos, el más ampliamente documentado es la previsión del incremento en las tasas de malnutrición en algunas regiones del mundo, particularmente la infantil y que puede convertirse en uno de los mayores efectos del cambio climático a nivel mundial.

A este complejo análisis conviene añadir aquellos factores que contribuyen a modificar el estado de salud individual mediados por la sensibilidad al clima y que engloban la

Figura 1: Impactos en Salud del Cambio Climático



Fuente: Traducido de McMichael et al. 2003

sensibilidad biológica (inmunidad adquirida, factores genéticos, presencia de enfermedad concomitante,...), factores biofísicos (recursos naturales, líneas basales de variables climáticas,...) y factores socioeconómicos (información, adopción de medidas de prevención

y adaptación, disponibilidad de recursos, integración social, hábitos de vida,...).

Todos ellos han de considerarse cuando se analizan los riesgos para la salud humana como consecuencia del cambio climático.



2

ANTECEDENTES

Antecedentes

El reconocimiento internacional del impacto en la salud del Cambio Climático se vio corroborado e impulsado en 2008 durante la 61ª Asamblea Mundial de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la que se emitió una resolución en Cambio Climático y Salud, avalada por 193 países que asumieron la urgencia de desarrollar medidas en salud e integrarlas en los planes de adaptación al cambio climático, reforzar el liderazgo de la salud pública facilitando las guías y conocimientos técnicos en materia de salud, reforzar la capacidad de los sistemas de salud para minimizar los impactos del cambio climático, promover de modo efectivo la intersectorialidad de las acciones y explicitar el compromiso de asumir los retos para la salud planteando líneas de acción e inversión a nivel nacional.

Ese mismo año, durante la 124ª sesión del Consejo Ejecutivo de OMS, se aprobó el Plan de Trabajo en Cambio Climático y Salud que definió objetivos en materia de concienciación, inclusión de la salud en las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático, generación de evidencias científicas y refuerzo de los sistemas de salud para afrontar las amenazas para la salud del cambio climático.

En 2009, la OMS propuso como prioridades globales para la investigación en salud y cambio climático la evaluación de los riesgos, la identificación de las intervenciones más efectivas, la inclusión de la protección de la salud en las decisiones en mitigación y adaptación en otros sectores, la mejora del apoyo técnico para la toma de decisiones y la estimación de costes de protección de la salud frente al cambio climático.

La generación de evidencia científica en salud y cambio climático, así como el desarrollo de herramientas y metodologías al servicio de la salud pública internacional ha continuado desde entonces.

En el ámbito de la Oficina Regional para Europa de la OMS, los Estados Miembros suscribieron las declaraciones emanadas de las Conferencias Ministeriales en Medio Ambiente y Salud (Frankfurt 1989, Londres 1999, Budapest 2004). En ellas, se ha venido subrayando la necesidad de actuar en cambio climático y salud. En 2010 y con ocasión de la quinta Conferencia Ministerial de Medio Ambiente y Salud se aprobó la Declaración de Parma y se suscribió un compromiso de acción. En dicho compromiso los retos para la salud y el medio ambiente como consecuencia del cambio climático fueron considerados clave, al tiempo que se avalaba el marco de referencia europeo para la acción, conocido como “Protección de la salud en un medio ambiente desafiado por el cambio climático”.

En el ámbito de la Unión Europea (UE), los Planes de Acción en medio ambiente y salud han venido abordando específicamente el cambio climático y la salud humana. Tanto la Estrategia de Salud Europea 2008-2013 como el Programa de salud europeo 2008-2013 han incluido el cambio climático como elemento para la acción.

En abril de 2013 se ha aprobado la “Estrategia de adaptación al cambio climático en la UE” cuya finalidad es contribuir a una Europa más resistente al clima, mejorando la preparación y la capacidad de respuesta a los efectos del cambio climático a nivel local, regional, nacional y de la UE, creando un planteamiento coherente y mejorando la coordinación. Está previsto que en 2017 la Comisión presente un informe al Parlamento y Consejo Europeos sobre el estado de aplicación de esta estrategia.

En España, el interés por el cambio climático y sus impactos cuentan con un largo recorrido en el tiempo, en el que se han puesto en marcha iniciativas, programas de intervención e investigación dirigidos a profundizar en el conocimiento científico y técnico en

relación con el cambio climático, desarrollo de modelos y producción de escenarios regionalizados de cambio climático, actuaciones para la movilización de actores implicados en el ámbito nacional e internacional, análisis para la inclusión del cambio climático en la normativa, estrategias de búsqueda de sinergias intra e intersectoriales, actividades de identificación y propuesta de intervenciones de mitigación y adaptación al cambio climático, entre otras.

En 1992, se crea en España la Comisión Nacional del Clima, adscrita al entonces Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente para promover la investigación sobre el cambio climático, el análisis de las implicaciones sociales y económicas y la creciente sensibilidad social ante el reto ambiental. Desde entonces, han sido numerosas las iniciativas tomadas por los gobiernos en esta materia tanto en el ámbito normativo como técnico y de planificación.

En materia *legislativa* cabe destacar:

- Real Decreto 376/2001, de 6 de abril, que crea la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) como órgano colegiado para desarrollar las políticas relacionadas con cambio climático. Éste ha sido modificado posteriormente por el Real Decreto 1188/2001, Real Decreto 1000/2003, Real Decreto 1477/2004 y Real Decreto 401/2012.
- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la que se crea la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático (CCPCC) como órgano de coordinación y colaboración entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas.
- Acuerdo de Consejo de Ministros de abril de 2009, por el que se aprueba la creación

del Observatorio de Salud y Cambio Climático (OSCC) y se encomienda su desarrollo y gestión a los Ministerios de Sanidad y Política Social y de Medioambiente, Medio Rural y Marino.

- Real Decreto 1823/2011, de 21 de diciembre, que establece que el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente disponga, como órgano superior de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y contempla que la Presidencia de la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático corresponde al titular de dicha Secretaría de Estado.
- Real Decreto 1886/2011, de 30 de diciembre, regula la composición y funcionamiento de la Comisión Interministerial para el Cambio Climático. Se crea la Comisión como órgano colegiado interministerial al que corresponden funciones de seguimiento y propuesta de las diferentes políticas relacionadas con el Cambio Climático.

En materia de *planificación*, el marco de referencia en España lo constituye el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) que fue aprobado en julio de 2006 por la CCPCC y el Consejo Nacional del Clima, conjuntamente con el Primer Programa de Trabajo. El Consejo de Ministros tomó conocimiento del Plan el 6 de octubre de ese año.

El PNACC constituye el marco para la coordinación entre las Administraciones Públicas en las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España.

El *Segundo Programa de Trabajo* adoptado en julio de 2009 incorpora las bases y principios de la política comunitaria en materia de adaptación recogidas en el Libro Verde sobre adaptación (julio 2007) y Libro Blanco (abril 2009). Este programa revisa los progresos

realizados desde 2006 y desarrolla una estructura que gira en torno a cuatro ejes para el abordaje de la adaptación al cambio climático en España y que son:

1. Evaluación sectorial de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: además de mantener la generación de escenarios de cambio climático regionalizados y las evaluaciones en los sectores contemplados en el Primer Programa de recursos hídricos, zonas costeras y biodiversidad, se añaden otros sectores relevantes para la economía y la población como el turismo, la agricultura, la salud, los bosques y los suelos/desertificación.
2. Integración de la adaptación al cambio climático en la normativa sectorial.
3. Movilización de actores clave tanto públicos y sociales como privados en los sectores incluidos en el Plan.
4. Establecimiento de un sistema de indicadores de los impactos y la adaptación al cambio climático en España en todos los sectores.

Este Segundo Programa se apoya en la potenciación de la I+D+i, y el refuerzo de la coordinación en las relaciones entre la Administración General del Estado y las Administraciones Autonómicas, para garantizar la complementariedad y evitar duplicidades a través de la CCPPC y de su Grupo de Trabajo de Impactos y Adaptación.

En el ámbito de la salud, el OSCC gestionado por los Ministerios de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI) y de Agricultura, Alimentación y Medioambiente (MAGRAMA), fue creado como instrumento de análisis, diagnóstico, evaluación y seguimiento de los efectos del cambio climático en la salud pública y en el Sistema Nacional de Salud (SNS).

El OSCC tiene la vocación de integrarse en el entramado multisectorial que fundamenta la política gubernamental, recabando y dinamizando las evaluaciones de los efectos para la salud humana según los distintos escenarios climáticos en España, sirviendo de apoyo a las políticas coordinadas de mitigación y adaptación en el ámbito de la salud y desarrollando indicadores que permitan el seguimiento de los efectos en salud y visibilicen los beneficios en ésta de las políticas de adaptación, de manera que se reduzca la vulnerabilidad de la población española frente al cambio climático.

La evidencia nos muestra que los cambios climáticos esperados son sobre todo relativos a:

- Aumento del riesgo de crecidas repentinas de agua en zonas interiores continentales y de inundaciones, erosión y aumento del nivel del mar en zonas costeras;
- Retracción de glaciares y de la cubierta de nieve con alteraciones importantes en los ecosistemas;
- Aumento de la temperatura y de la frecuencia de sequías, con reducción de la disponibilidad de agua en el sur europeo y cuenca mediterránea así como reducción de las precipitaciones anuales;
- Presencia de fuertes olas de calor y el aumento de la frecuencia de incendios forestales importantes.
- Aumento del riesgo para la salud de los efectos causados por la contaminación atmosférica especialmente por O₃ y partículas finas de origen secundario.
- Incremento (o persistencia) de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores o contaminación del agua y alimentos, así

como enfermedades y desnutrición por falta de alimentos, desde un punto de vista global.

La implicación y los impactos para la salud humana de estos cambios esperados son innegables y constituyen la razón por la que el sector salud ha sido incluido con entidad propia en la línea de trabajo de evaluación sectorial del PNACC.

El OSCC ha sido el encargado de propiciar el análisis y evaluación de los impactos en la salud para ponerlos al servicio del proceso de toma de decisiones, en aras de profundizar en las necesidades en salud para la adaptación al cambio climático, en la evaluación de las vulnerabilidades identificadas, así como en las actuaciones prioritarias, para dotarnos de un sector salud resistente a los impactos del cambio climático y de las herramientas para minimizar dichos impactos en la salud de la población.



3

METODOLOGÍA

Metodología

El marco general en el que se encuadra este documento responde al primero de los ejes de trabajo del PNACC, tratándose de una evaluación de los impactos del Cambio Climático en la Salud Humana en España.

Este análisis fue encomendado al Observatorio de Salud y Cambio Climático por parte de la OECC encargada de la gestión y el seguimiento del PNACC.

Tomando como base el informe “Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático” (2005) que incluye un capítulo específico relativo a salud, se ha procedido a una revisión del estado del arte en los efectos para la salud consecuencia del cambio climático.

Con ocasión del I Encuentro de Expertos en Salud y Cambio Climático celebrado en la ciudad de Mahón en septiembre de 2011, en el marco de la Escuela de Salud Pública de Menorca, se impulsó la realización de este trabajo. En dicho encuentro se identificaron las temáticas prioritarias para la evaluación de los efectos del cambio climático en la salud y se conformaron cuatro grupos de trabajo. Dichos grupos integrados por expertos procedentes de las administraciones públicas, la academia y asociaciones de marcada relevancia en la materia, se constituyeron para abordar los siguientes temas priorizados: la calidad del agua, las temperaturas extremas, la calidad del aire y las enfermedades transmisibles.

Se acordó que el objetivo del trabajo a realizar fuera poner a disposición de gestores y ciudadanos interesados una actualización del conocimiento científico de los efectos en la salud, una recopilación de las principales intervenciones y acciones llevadas a cabo en el nivel local, nacional, regional y global dirigidas a minimizar los impactos en

la salud humana así como la identificación de las principales incertidumbres que debieran guiar y animar ulteriores investigaciones.

El análisis realizado no ha tenido vocación de cubrir el conjunto del sector salud, si bien se considera la pertinencia de llevarlo a cabo en el futuro. Este documento no aborda la evaluación de impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector sanitario, ni tampoco en otros sectores en profundidad aunque sí se mencionan los más directamente involucrados en cada tema tratado. Esto es así por la naturaleza propia del sector, su envergadura y diversidad de componentes, así como la especificidad del marco competencial de nuestro SNS.

La metodología utilizada ha consistido en esencia en revisiones bibliográficas y de la evidencia científica y la búsqueda de consensos en los cuatro grupos de trabajo.

Las revisiones bibliográficas se han realizado en las bases de literatura científica más importantes y habituales, así como búsquedas más específicas en bases y repertorios de publicaciones de agencias y organismos nacionales e internacionales especializados en salud y cambio climático.

La estructura del documento responde con la mayor fidelidad posible a la estructura del Informe ya mencionado de Evaluación Preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático (MMA 2005).

El documento que aquí se presenta cuenta con cinco capítulos. Los cuatro primeros dirigidos a introducir el tema, aportar información sobre los principales antecedentes y evolución del marco de referencia global, europeo y español en salud y cambio climático, describir sucintamente la metodología utilizada y aportar algunos datos significativos.

El capítulo quinto incluye el análisis diferenciado de los cuatro temas priorizados por este orden:

1. Temperaturas extremas
2. Calidad del agua
3. Calidad del aire
4. Enfermedades de transmisión vectorial

En cada bloque temático se abordan secuencialmente:

- Aspectos generales y científico-técnicos más relevantes.
- Impactos previsibles del cambio climático a la luz de la evidencia más reciente.
- Identificación de la mayor vulnerabilidad en la población y en algún caso vulnerabilidad geográfica.
- Principales opciones adaptativas, con dos vertientes según el tema, opciones ya desarrolladas o planteadas en términos de propuesta.
- Detección del cambio, incluido en los temas en los que los recursos e instrumentos actuales lo permiten.
- Implicación para las políticas, donde se recorren no solo la española, sino también la europea y en determinados casos la global.
- Principales incertidumbres y necesidades de investigación en el futuro más cercano.
- Referencias bibliográficas.



4

ALGUNOS DATOS

Algunos datos

- El cambio climático amplifica los impactos negativos en la salud de otros factores de estrés medioambientales como la degradación de la tierra, nitrificación del suelo, contaminación atmosférica, depleción de stocks de fuentes de agua, acidificación del océano y pérdida de biodiversidad.
- Los efectos más importantes en la salud del cambio climático serán las lesiones y enfermedades consecuencia de eventos climáticos extremos como tormentas u olas de calor, la distribución espacial y extensión de enfermedades transmisibles en particular las de transmisión hídrica, alimentaria y vectorial y la frecuencia de enfermedades cardiorrespiratorias.
- La naturaleza y la escala de los impactos finales dependerán de la capacidad adaptativa y acciones de los sistemas de salud y del acceso de las diferentes poblaciones a los servicios.
- El cambio climático afectará a la salud humana directamente por efectos fisiológicos de eventos climáticos extremos o indirectamente por alteración de los comportamientos humanos o una transmisión aumentada de patógenos.
- Se prevén modificaciones en la transmisión de enfermedades de transmisión vectorial como resultado de los cambios en su distribución geográfica, estacionalidad y tamaño poblacional, a los que se añaden como factores persistentes los cambios en los usos de la tierra y los factores socioeconómicos.
- El efecto más significativo de cambio climático parece estar en relación con el ozono, al tener un efecto recíproco. La temperatura, el viento y la humedad influyen en la formación y niveles de ozono. A su vez su presencia afecta a estas variables atmosféricas.
- El cambio climático potencialmente incrementará la estacionalidad y duración de los desórdenes alérgicos. Para 2040 se prevé que el 40% de la población europea presentará predisposición alérgica.
- En Europa se estima un incremento en la mortalidad entre 1%-4% por cada grado de temperatura que aumente, es decir un aumento de más de 30.000 fallecimientos /año en la década de 2030 y entre 50.000 y 110.000 para la década de 2080.
- En Europa, el estrés hídrico se prevé que aumente en Europa Central y del Sur afectando entre 16 y 44 millones adicionales de personas para 2070.
- En Europa las inundaciones costeras amenazan a cerca de 1,6 millones de personas cada año. Entre 1998 y 2009 se produjeron 126 fallecimientos por inundaciones.
- Las enfermedades infecciosas sensibles a la temperatura, particularmente las de transmisión alimentaria es previsible que aumenten, suponiendo en torno a 20.000 casos adicionales por año hasta la década de 2030.
- La mayoría de las regiones para las que los impactos del cambio climático se prevén más severos (principalmente en el sur) son también aquellas que presentan capacidad baja de adaptación.
- Los tipos de regiones europeas más vulnerables incluyen las regiones costeras densamente pobladas en particular las más dependientes del turismo de verano, las regiones montañosas ligadas al turismo, las ciudades con densidad de población elevada donde el calor puede ser un problema relevante y las regiones expuestas a inundaciones de ríos.





5

PRINCIPALES EFECTOS EN SALUD DEL CAMBIO CLIMÁTICO



5.1

Temperaturas extremas

Coordinador:

Díaz Jiménez, Julio
Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Autores:

Ballester Díez, Ferrán
Universidad de Valencia
Centro Superior de Investigación en Salud Pública CSISP-FISABIO
Generalitat Valenciana. CIBERESP

Basagaña Flores, Xavier
Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental
Generalitat de Catalunya

Grimalt Obrador, Joan
Centro de Investigación y Desarrollo “Josep Pascual Vila”
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ministerio de Economía y Competitividad

Iñiguez Hernández, Carmen
Centro Superior de Investigación en Salud Pública CSISP-FISABIO
Generalitat Valenciana. Universidad de Valencia. CIBERESP

Linares Gil, Cristina
Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Mirón Pérez, Isidro Juan
Distrito de Salud de Torrijos
Consejería de Salud y Bienestar Social de Castilla-La Mancha

Montero Rubio, Juan Carlos
Instituto de Ciencias de la Salud
Consejería de Salud y Bienestar Social de Castilla-La Mancha

Ordoñez Iriarte, Jose Maria

Dirección General de Ordenación e Inspección
Consejería de Sanidad, Comunidad de Madrid

Simón Soria, Fernando

Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES)
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Tobías Garcés, Aurelio

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ministerio de Economía y Competitividad

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

1. Introducción	45
2. Definición de ola de calor.....	46
3. Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud. Definición de temperatura umbral de ola de calor.....	48
4. Impactos previsibles del cambio climático.....	50
4.1. Impactos esperados sobre la salud de las temperaturas extremas.	52
4.1.1. Previsiones sobre los efectos del calor.....	52
4.1.2. Previsiones sobre los efectos del frío.....	54
4.2. Otras consideraciones.....	54
5. Zonas y grupos de población más vulnerables.....	55
6. Principales opciones adaptativas	57
7. Principales incertidumbres y desconocimientos	59
8. Detección del cambio.....	61
9. Implicaciones para las políticas	61
10. Principales necesidades de investigación	63
11. Bibliografía	65

1. Introducción

El cambio climático constituye una evidencia científica que en la actualidad nadie cuestiona. De hecho, el cuarto informe realizado por los expertos del IPCC establece que el cambio climático es inequívoco. El aumento de los niveles de gases de efecto invernadero (GEI), que ha pasado de 280 partes por millón (ppm) antes de la Revolución Industrial a las 450 ppm actuales, ha provocado ya un calentamiento de más de 0,5°C y como resultado de la inercia del sistema climático está asegurado al menos un incremento de otros 0,5°C en las próximas décadas, aunque no se produzca aumento en las concentraciones de GEI. Este hecho ha ocasionado que hasta 2006, los últimos 11 años estén entre los más calurosos desde 1850 según los registros instrumentales de temperaturas de la superficie mundial (IPCC 2007). Más recientemente, durante el verano de 2012 la temperatura media en España ha alcanzado los 24°C, lo que supone 1,7°C más que el valor medio normal (periodo de referencia 1971-2000), siendo el cuarto verano más cálido desde 1961 (AEMET 2012).

Pese a la complejidad de los efectos del cambio climático sobre la salud humana, uno de sus efectos directos, probablemente de mayor repercusión en los países desarrollados, será el aumento de la morbilidad y la mortalidad relacionadas con las temperaturas extremas. Recientemente se han realizado algunos trabajos (Ostro et al. 2012; Baccini et al. 2011) en los que se muestra el incremento de mortalidad asociada al aumento de las temperaturas veraniegas en diferentes escenarios de cambio climático. Una revisión completa de los artículos publicados en esta línea puede encontrarse en el trabajo de Huang et al. (Huang et al. 2011).

La temperatura del cuerpo humano en reposo oscila entre 36,0 - 37,5°C, mientras que la temperatura de la piel en contacto con el exterior, es aproximadamente 0,5°C menor. La capacidad del organismo para mantener este margen de temperaturas, está regida por

el centro termorregulador del hipotálamo, que permite equilibrar los mecanismos de producción y pérdida de calor y así mantener constante la temperatura. De forma general, hay un rango de temperaturas diferente según cada lugar geográfico, en el cual el sistema de termorregulación se encuentra en un estado de mínima actividad y los individuos experimentan sensación de bienestar o confort térmico. A medida que la temperatura ambiente se aleja de esa zona de bienestar, el sistema termorregulador aumenta su actividad y los ajustes que deben producirse, se experimentan como sensación de malestar térmico (Díaz y Linares 2007).

Desde el punto de vista de la relación existente entre los cambios de temperatura y la mortalidad, es conocido que la mortalidad presenta una dinámica estacional caracterizada por la aparición de un máximo invernal y un pico estival de menor amplitud, aunque a veces más intenso desde el punto de vista de sus efectos en salud que el exceso de mortalidad invernal (Mckenbach et al. 1992; Alderson 1985). El resultado de numerosas investigaciones indica que la relación entre la temperatura y la mortalidad suele tener forma de "U" o de "V" con una temperatura de mínima incidencia que varía de unos lugares a otros (Sáez et al. 1995; Ballester et al. 1997; Alberdi et al. 1998; McMichael et al. 2008) que depende, probablemente, de la adaptación de la población al rango de temperaturas al que se encuentra expuesta (Curriero et al. 2002, Díaz et al. 2006). De modo que, si se alcanzan valores extremos alejados de la temperatura de mínima incidencia, los mecanismos de termorregulación quedan desbordados, lo que supone un riesgo para la salud (Díaz y Linares 2007).

La sobremortalidad invernal se explica principalmente por las enfermedades respiratorias y circulatorias, siendo estas últimas las más relacionadas con la sobremortalidad estival (Alberdi y Díaz 1997). Los grupos de mayor edad son los que más contribuyen a estos excesos de mortalidad (Alberdi et al.

1998; Ballester et al. 2003). Por otra parte, el efecto del calor ocurre a corto plazo (1-3 días), mientras que el efecto del frío suele dilatarse en el tiempo y ocurrir entre una y dos semanas después del extremo térmico (Alberdi et al. 1998; Braga et al. 2001), lo que es coherente con los mecanismos biológicos que subyacen (Huynen et al. 2001; Havenit 2002).

Muchos de los estudios que relacionan temperaturas con indicadores de pérdida de salud (mortalidad, morbilidad) emplean el término “extremo térmico”. Por ello es necesario definirlo. Cuando las temperaturas anormalmente elevadas o bajas pasan a denominarse “olas de calor o de frío”.

Aunque existen trabajos específicos realizados en nuestro país (Díaz et al. 2005; Montero et al. 2010; Mirón et al. 2012) que analizan el indudable efecto de las temperaturas extremadamente bajas sobre la salud y la mortalidad, no se contempla por el momento la implantación de planes de prevención para temperaturas extremadamente bajas. Por ello, en este informe serán objeto de análisis fundamentalmente las temperaturas extremadamente elevadas.

2. Definición de ola de calor

Indiscutiblemente, en cualquier ámbito de la ciencia es esencial establecer metodologías y criterios que permitan obtener resultados globalmente comparables y aplicables, como ocurre a la hora de definir los términos “ola de calor” y “ola de frío”, cuya definición en salud pública presenta serias dificultades (Montero et al. 2012a). En este sentido el Proyecto Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-waves (EuroHEAT) propone una definición estándar de ola de calor para poder comparar su impacto entre diferentes ciudades europeas (D’Ippoliti et al. 2010). En dicho proyecto la exposición a las olas de calor tiene en cuenta tanto los valores extremos durante el día o “temperatura máxima aparente” (T_{appmax}), como las

altas temperaturas de la noche o “temperatura mínima” (T_{min}). La T_{appmax} es resultado de la interacción entre la temperatura máxima del aire y la humedad, calculada según la siguiente ecuación:

$$T_{app} = -2,653 + 0,994 (T_{air}) + 0,0153 (T_{dewpt})^2$$

En la que T_{app} es la temperatura aparente, T_{air} es la temperatura del aire, y T_{dewpt} es la temperatura del punto de rocío.

Teniendo en cuenta todo esto, en el proyecto EuroHEAT las olas de calor se definieron como los periodos en que hay (D’Ippoliti et al. 2010):

- 1) al menos dos días consecutivos con T_{appmax} superior al percentil 90 de la distribución mensual, ó
- 2) al menos dos días consecutivos en los que la T_{min} supera el percentil 90 y T_{appmax} supera la mediana mensual.

Esta definición de ola de calor se utilizó para analizar la mortalidad producida en diversas ciudades europeas en el periodo 1990-2004. Se observó que el efecto de las olas de calor muestra una gran heterogeneidad geográfica entre las diferentes ciudades. Teniendo en cuenta todos los años excepto 2003, en las nueve ciudades europeas analizadas por EuroHEAT (Atenas, Barcelona, Budapest, Londres, Milán, Munich, París, Roma y Valencia) el aumento de la mortalidad durante los días de ola de calor osciló entre un 7,6% en Munich y un 33,6% en Milán. El aumento fue hasta 3 veces superior durante los episodios de larga duración y alta intensidad. Los resultados combinados muestran un mayor impacto en las ciudades mediterráneas (+21,8% para la mortalidad total) que en las del norte continental (+12,4%) (D’Ippoliti et al. 2010).

Aunque es importante el objetivo de unificar la definición de ola de calor del Proyecto EuroHEAT, también hay que resaltar que

la definición de ola de calor así planteada presenta una serie de limitaciones que es preciso considerar:

En primer lugar, el uso de parámetros que sintetizan varias variables en un único algoritmo matemático sólo es aconsejable si previamente se ha comprobado su adecuación en todos los escenarios posibles. El uso de la T_{app} implica admitir que durante cualquier ola de calor existe una relación cuadrática y positiva entre la humedad relativa, medida a través de la temperatura del termómetro húmedo, y la mortalidad. Es decir, un incremento de la humedad está siempre asociado a un aumento de la mortalidad. Sin embargo, varios trabajos demuestran que existen excepciones. Por ejemplo, en Estados Unidos la citada relación varía en las distintas ciudades analizadas (Braga et al. 2002). En España, en los estudios en los que se ha analizado de forma independiente la humedad, se ha observado que la mayor mortalidad está asociada con humedades bajas, (Montero et al. 2012b; Díaz et al. 2002) probablemente relacionado con las condiciones meteorológicas a escala sinóptica presentes en parte de las olas de calor registradas en España. No obstante, el no tener en cuenta la dirección de la asociación puede dar lugar a una interpretación errónea de los resultados. Sin duda, el gran peso que la temperatura del aire tiene sobre la definición de T_{app} hace que exista una fuerte asociación entre T_{app} y mortalidad, más que el posible impacto de la humedad relativa.

Por otra parte, definir ola de calor para aplicar actuaciones sanitarias a través de un parámetro basado solamente en las condiciones climatológicas de una ciudad o región, significará que se toma una decisión en salud pública sin tener en cuenta ningún indicador de la salud de la población. Las recomendaciones de la mayoría de los expertos es utilizar una

definición basada en un “conocimiento robusto de la relación causa-efecto entre la temperatura ambiental y la salud de la población” (Kovats y Ebi 2006).

Hay que tener en consideración que las olas de calor se producen a temperaturas más bajas en lugares más fríos (Curriero et al. 2002), de ahí que sea aconsejable utilizar el percentil de las series de temperatura para definir un extremo térmico y no temperaturas absolutas. Esta característica sin duda debe ser considerada al interpretar la mayor mortalidad en los países más septentrionales de Europa durante la ola de calor de 2003 (D'Ippoliti et al. 2010).

Sin embargo, la relación entre la salud y la temperatura no es inmutable. Por el contrario, está regulada por un complejo número de variables económicas, sociales, culturales y sanitarias (Basu 2009). Varios estudios que analizan la evolución de la asociación entre mortalidad y temperatura en series suficientemente largas en Estados Unidos (Davis et al. 2003), Reino Unido (Carson et al. 2006) y España (Mirón et al. 2010), han detectado que dicha asociación evoluciona de forma diferente, adaptándose a los cambios de las características de cada sociedad. Una variable que tiene especial importancia en la evolución de esta relación es el índice de envejecimiento. Un estudio reciente en España ha encontrado que en las poblaciones con más ancianos se detecta un incremento de la mortalidad a temperaturas más bajas (Montero 2012b). En este caso y desde el punto de vista de la salud, a mayor envejecimiento de la población parece que los efectos de la ola de calor aparecen a temperaturas menos elevadas.

Estos resultados suponen un cambio de paradigma a la hora de definir una ola de calor. Esta definición no puede ser fija, ya que es imposible establecer una temperatura que sirva para todas las latitudes, sino que ni siquiera se puede fijar un percentil de la serie de temperaturas a la que se ve expuesta una

población, pues la relación entre temperatura y mortalidad varía con el tiempo.

Al contrario, los esfuerzos para definir una ola de calor se deben dirigir a la búsqueda de la temperatura umbral mediante estudios epidemiológicos consistentes. Sin duda, la temperatura umbral así determinada estará relacionada con las condiciones ambientales, sociales, económicas y demográficas de un área concreta.

De esta manera, la adopción de planes de prevención basados en la superación de los umbrales así determinados conllevará una disminución de los impactos de las altas temperaturas sobre la salud de la población.

3. Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud. Definición de temperatura umbral de ola de calor

Desde el año 2004 se han establecido en nuestro país unos umbrales de temperatura para la definición de ola de calor basados en percentiles de series climatológicas con ciertas modificaciones. Actualmente el MSSSI (MSSSI 2013) plantea del siguiente modo los criterios para la asignación de los umbrales de referencia de temperaturas máximas y mínimas:

Como norma general se tienen en cuenta el percentil 95 de las series históricas de las temperaturas máximas y mínimas diarias de las capitales de provincia en verano. Como excepción para las estaciones de clima suave con baja oscilación térmica diaria (zonas marítimas principalmente) del norte y noroeste peninsular, se tiene en cuenta el percentil 95 de la serie histórica de temperaturas máximas absolutas del periodo estival. Análogamente en las estaciones de clima continental, el umbral considerado para la T_{\min} corresponde al percentil 95 de las series de T_{\min} más altas del verano.

Los valores obtenidos mediante estos cálculos se redondean al número entero más próximo, debido a que el error en la predicción de temperaturas máximas y mínimas es del orden de un grado centígrado aproximadamente. Para los casos en que hayan resultado inferiores a 20°C para las T_{\min} , y a 33°C para las máximas, se han adjudicado estos niveles a la capital de provincia correspondiente, por considerarse que T_{\min} menores que 20°C y máximas menores de 33°C no tienen consecuencias a los efectos de este Plan. No obstante, en este año 2013 se ha contemplado el cambio de algunas temperaturas máximas diarias como temperaturas umbral obedeciendo esta modificación a los estudios epidemiológicos realizados en Madrid (Díaz et al 2002 a), Sevilla (Díaz et al 2002b), Barcelona (Tobías et al 2010), Toledo, Cuenca, Guadalajara, Albacete, Ciudad Real (Montero et al 2012b), Zaragoza y Huesca (Roldán et al 2013) (tabla 1).

Temperatura y salud

- La relación entre la salud y la temperatura no es inmutable. Por el contrario, está regulada por un complejo número de variables económicas, sociales, culturales y sanitarias.
- Una variable que tiene especial importancia en la evolución de la relación entre salud y temperatura es el índice de envejecimiento.
- Los esfuerzos para definir ola de calor deben dirigirse a la búsqueda de la temperatura umbral mediante estudios epidemiológicos consistentes.

Tabla 1. Temperaturas umbrales establecidas (máxima y mínima) para todas las provincias españolas, año 2013.

PROVINCIAS	TEMPERATURAS UMBRALES		PROVINCIAS	TEMPERATURAS UMBRALES	
	MÁXIMA	MÍNIMA		MÁXIMA	MÍNIMA
A Coruña	33	20	La Rioja	36	22
Álava	34	20	Las Palmas	33	23
Albacete	36	20	León	33	20
Alicante	35	23	Lleida	37	21
Almería	35	24	Lugo	33	20
Asturias	33	20	Madrid	36,5	21
Ávila	33	22	Málaga	36	23
Badajoz	40	21	Melilla	33	24
Baleares	35	22	Murcia	38	22
Barcelona	30,5	22	Navarra	36	22
Burgos	33	20	Ourense	37	21
Cáceres	38	23	Palencia	36	21
Cádiz	33	24	Pontevedra	33	22
Cantabria	35	22	Salamanca	35	20
Castellón	33	23	Santa Cruz de Tenerife	33	23
Ceuta	33	22	Segovia	34	20
Ciudad Real	35	22	Sevilla	41	22
Córdoba	41	22	Soria	34	20
Cuenca	32	21	Tarragona	33	22
Girona	34	20	Teruel	35	20
Granada	39	23	Toledo	38	22
Guadalajara	35	21	Valencia	34	23
Guipúzcoa	36	22	Valladolid	36	21
Huelva	37	22	Vizcaya	37	21
Huesca	34	20	Zamora	35	22
Jaén	39	25	Zaragoza	38	21

Fuente: Plan Nacional de Acciones Preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud. MSSSI. Año 2013.

En cuanto a los criterios para la asignación de los niveles de temperaturas excesivas, y en base a las temperaturas umbrales máximas y mínimas establecidas y a la predicción de temperaturas máximas y mínimas a cinco días (además de considerar la persistencia como factor de riesgo), la asignación de los niveles se realiza utilizando los siguientes criterios (tabla 2):

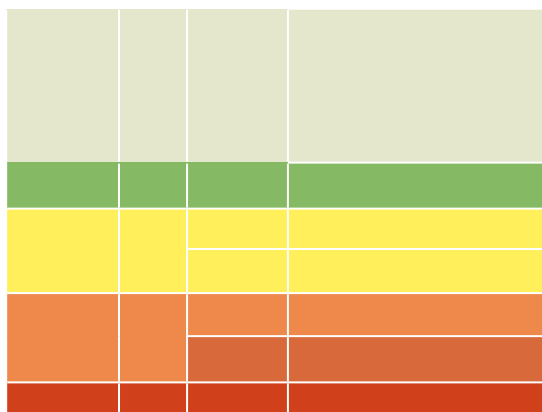
- Si el número de días en que la temperatura máxima y mínima previstas rebasa simultáneamente los valores umbrales de referencia respectivos es cero, el índice es "0", el nivel asignado se denomina "NIVEL

0" o de ausencia de riesgo, y se representa con el color verde.

- Si el número de días es uno o dos, los índices son respectivamente "1" y "2", el nivel asignado se denomina "NIVEL 1" o de bajo riesgo, y se representa con el color amarillo.
- Si el número de días es tres o cuatro, los índices son respectivamente "3" y "4", el nivel asignado se denomina "NIVEL 2" o de riesgo medio, y se representa con el color naranja.

- Si el número de días es cinco, el índice es "5", el nivel asignado se denomina "NIVEL 3" o de alto riesgo, y se representa con el color rojo.

Tabla 2. Niveles de riesgo



Fuente: Plan Nacional de Acciones Preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud. MSSSI. Año 2013.

Aunque el Plan de Prevención definido con anterioridad es mejorable, constituye una primera medida destinada a mitigar los efectos que las temperaturas especialmente elevadas tienen sobre la salud de la población. Los futuros escenarios sobre cambio climático y las previsiones sobre los posibles impactos que se exponen a continuación hacen imprescindible la articulación de este tipo de medidas. Es evidente, por lo expuesto en epígrafes anteriores, que sólo los estudios de carácter epidemiológico que relacionen temperatura con algún indicador de salud, generalmente la mortalidad, pueden determinar una temperatura umbral y que dichos estudios han de realizarse en España al menos a nivel provincial o de aglomeraciones urbanas importantes. Recientemente la idoneidad de la definición de ola de calor ha sido motivo de análisis en diferentes trabajos científicos (Montero et al. 2010 b, c; Tobías et al. 2012).

En algunas Comunidades Autónomas los planes específicos incluyen umbrales de temperaturas diferentes y establecen sus propios niveles de alerta. Se señala como ejemplo el caso de la Comunidad de Madrid.

Tabla 3. Niveles de Riesgo de Comunidad de Madrid

NORMALIDAD	Temperaturas previstas inferiores a 36,6°C
PRECAUCIÓN Alerta tipo I	Se activa cuando la temperatura máxima prevista para ese día o alguno de los cuatro siguientes es igual o superior a 36,6°C, sin que haya más de tres días consecutivos a esta temperatura
ALTO RIESGO Alerta tipo II	Se activa cuando la temperatura máxima prevista para ese día o alguno de los cuatro siguientes es igual o superior a 38,6°C o se prevé que haya más de tres días consecutivos de este periodo con temperaturas máximas superiores a 36,6 °C

Fuente: Plan de alertas y prevención de los efectos sobre la salud de las olas de calor. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.

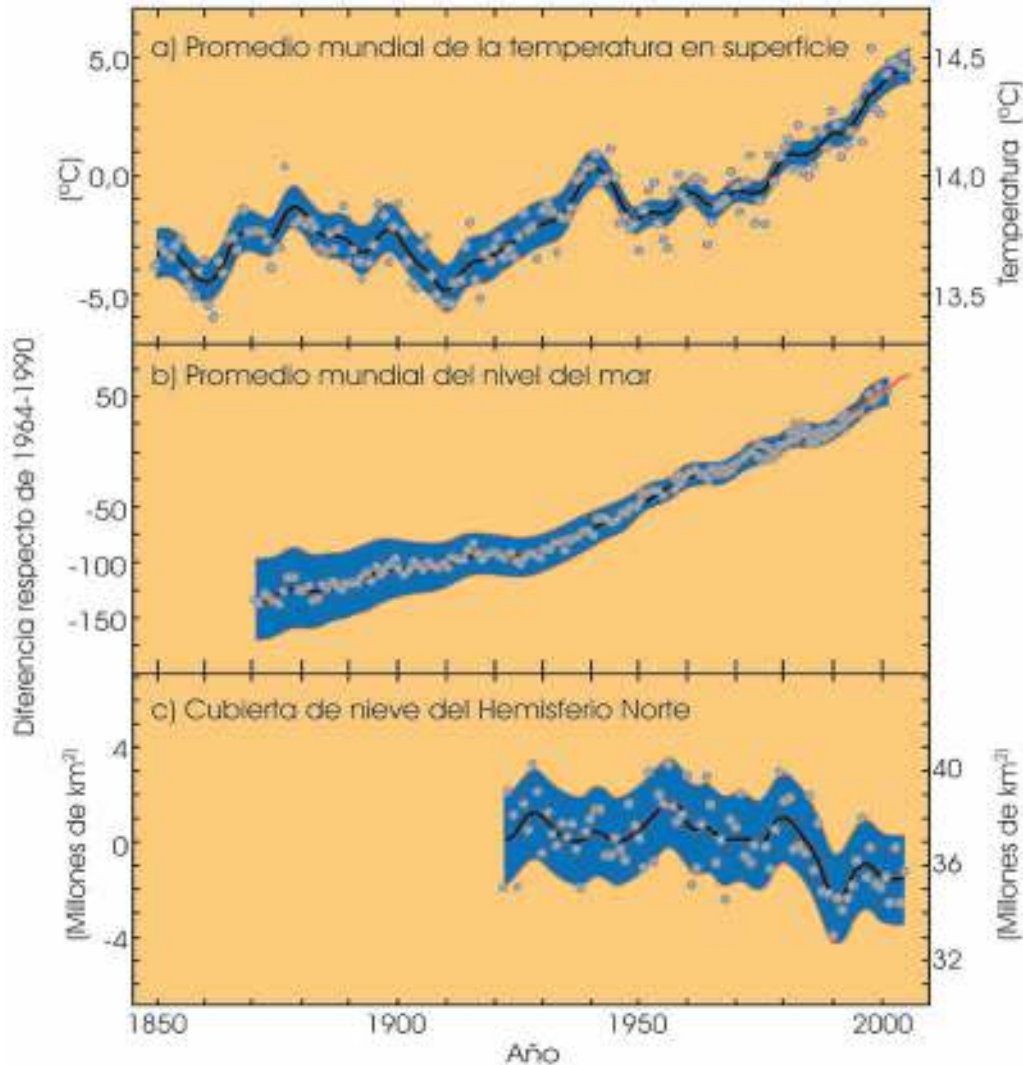
4. Impactos previsibles del cambio climático

El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, publicado en 2007 (IPCC 2007), refuerza aún más las evidencias de que nos encontramos en una fase de cambio climático debido en gran medida a la actividad humana. El aumento de la emisión de gases como dióxido de carbono o metano a la atmósfera está potenciando el llamado efecto invernadero.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado del promedio mundial de temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos y del aumento del promedio mundial del nivel del mar (IPCC 2007), como puede observarse en la figura 2.

En el caso concreto de las temperaturas, las proyecciones reflejan un incremento de la temperatura del aire en superficie para el año 2100 de entre 1,8°C y 4°C, lo

Figura 2. Cambios observados en: a) el promedio mundial de la temperatura en superficie, b) el promedio mundial del nivel del mar según datos mareográficos (azul) y satelitales (rojo,) y c) la cubierta de nieve del Hemisferio Norte en el período marzo-abril. Todas las diferencias han sido obtenidas respecto de los promedios correspondientes al período 1961-1990.



Fuente: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

que representa un ritmo de cambio muy rápido, y supone un amplio abanico de incertidumbres en un futuro relativamente próximo, con potenciales consecuencias medioambientales, económicas, sociales y sobre la salud.

Los escenarios más probables para los próximos años estarán caracterizados por un

aumento de los extremos climáticos de todo tipo (olas de calor, sequías, precipitaciones intensas, etc.), pero sobre todo se advierte que estos fenómenos serán muy distintos y de diferente intensidad dependiendo de las características geoclimáticas de cada zona.

En 2005 se publicó en España una evaluación sobre los impactos del cambio climático en

nuestro país (Moreno et al. 2005). Entre otras predicciones el estudio preveía:

- Un progresivo incremento de las temperaturas medias a lo largo del siglo.
- Un aumento significativamente mayor en verano que en invierno.
- Una menor precipitación acumulada anual.
- Una mayor amplitud y frecuencia de anomalías térmicas mensuales en relación con el clima actual.
- Una mayor frecuencia de días con temperaturas extremas, especialmente en verano.

Además, en el estudio se presentaban las proyecciones de una serie de modelos climáticos según los cuales se preveían que los principales cambios, sobre todo en lo que a extremos térmicos se refiere, se producirán en el interior peninsular.

Otra aproximación realizada en el año 2010 para nuestro país en concreto, es la realizada por la AEMET mediante la *“generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España”* (AEMET 2010). En este trabajo se realizan distintas proyecciones en función de los diferentes escenarios de cambio climático. Así, si nos referimos a un escenario A2 (que es poco respetuoso con el medio ambiente en términos de emisiones y que puede califi-

carse de emisiones medias-altas), se prevén para el segundo tercio del siglo XXI, entre 2041-2070, incrementos de las temperaturas máximas de 3 a 5°C, y de 5 a 8°C para el periodo 2070-2100. La distribución anual de los cambios de temperaturas máximas no es igual para todos los meses, con un mayor aumento de las temperaturas máximas en los meses de verano y un menor incremento en los meses invernales. Este efecto es más acusado en las regiones interiores de la Península.

En cuanto a la existencia de eventos térmicos con temperaturas extremadamente elevadas, se sitúa a nuestro país como uno de los más vulnerables al cambio climático y se presta especial atención a la posible evolución de las olas de calor (Fischer y Schär 2010). En este trabajo se establece que partiendo de un promedio de 2 días de temperaturas veraniegas extremas observado en el período 1961-1990, se espera un promedio de 13 días entre 2021 y 2050, y de 40 días de 2071 a 2100. No sólo aumenta la frecuencia de ocurrencia, sino también su duración e intensidad.

4.1. Impactos esperados sobre la salud de las temperaturas extremas

4.1.1. Previsiones sobre los efectos del calor

En la década de los noventa, en un trabajo realizado sobre 44 ciudades de Estados Unidos se calculó un incremento de entre el

Proyecciones

- Las proyecciones reflejan un incremento de temperatura del aire en superficie para el año 2100 entre 1,8°C y 4°C, que supone un amplio abanico de incertidumbres con potenciales consecuencias medioambientales, económicas, sociales y sobre la salud.
- Los escenarios más probables para los próximos años estarán caracterizados por un aumento de los extremos climáticos, que serán muy distintos según las características geoclimáticas de cada zona.
- Se prevé un mayor aumento de las temperaturas máximas en los meses de verano y un menor incremento en meses invernales. Este efecto es más acusado en las regiones interiores de la Península.

70% y el 100% de la mortalidad en verano para el año 2050, según se considerase un modelo más o menos conservador (Kalkstein y Green 1997). Estimaciones más recientes apuntan a que el incremento de la mortalidad por calor en esa misma fecha en la región de la ciudad de Nueva York estará en un rango entre el 47% y el 95%, con un incremento medio del 70% respecto a 1990, localizándose un mayor número de muertes en las zonas con un mayor nivel de urbanización. Los posibles efectos de la aclimatación a estas nuevas circunstancias (p. ej. mayor uso del aire acondicionado, una habituación fisiológica, cambios en los comportamientos frente al calor, una política sanitaria activa frente a las olas de calor, etc.) podrían mitigar en parte este incremento pero nunca compensarlo totalmente, estimándose una reducción por estas medidas en torno al 25% (Knowlton et al. 2007).

Recientemente, en el marco del Proyecto Europeo PHEWE (*Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe*), en el que están incluidas las ciudades españolas de Barcelona y Valencia, se ha estudiado el posible incremento de la mortalidad en el horizonte del año 2030 según diferentes escenarios del IPCC, y se concluye que la media de la fracción atribuible de muertes por calor será de un 2%, con el mayor impacto en las ciudades mediterráneas (Baccini et al. 2011), y siendo éste un fenómeno que aumentará en el futuro de acuerdo

con el incremento previsto de la frecuencia e intensidad de las olas de calor.

Estudios realizados en otros países llegan a conclusiones más dramáticas que las del proyecto PHEWE, aunque conviene considerar que han sido realizados con bastante anterioridad. Así, por ejemplo un estudio llevado a cabo para la ciudad de Lisboa concluye que la mortalidad por elevadas temperaturas podría aumentar hasta un máximo de 6 veces en el año 2050 (Dessai 2003). Otras investigaciones atribuyen una menor mortalidad, por ejemplo, se calcula que en el Reino Unido se elevará un 250% las muertes al año en esa misma fecha (Donalson 2002). Y otro trabajo realizado en 6 ciudades australianas sobre personas mayores de 65 años, estima un incremento anual de fallecimientos del 75%, también para ese año (McMichael 2002). En California, en un estudio regional se ha calculado que en las últimas décadas del siglo XXI la mortalidad estival puede ser entre 2 y 7 veces superior a la actual, y eso teniendo en cuenta los posibles resultados positivos de la adaptación de las poblaciones a ese nuevo escenario climatológico (Hayhoe et al. 2004). Si bien en otros estudios realizados para Cataluña (Ostro et al. 2012) basándose en un posible escenario de cambio climático para esta región, se ha calculado un exceso de mortalidad en verano de entre 720 y 2.330 muertes anuales, lo que supone un incremento en la mortalidad de un 2%-3%.

Calor

- En el horizonte de 2030 según diferentes escenarios del IPCC, la media de la fracción atribuible de muertes por calor será de un 2%, con mayor impacto en las ciudades mediterráneas. Otras investigaciones hablan de incrementos superiores.
- El grupo más afectado por el calor será el de personas mayores de 65 años.
- El impacto de las olas de calor, que serán más frecuentes y más intensas, será mayor porque:
 - cada vez la temperatura va a ser más elevada como consecuencia del cambio climático y
 - el umbral de disparo de la mortalidad va a ser más bajo por el envejecimiento de la población.

En un horizonte temporal más alejado es de destacar el trabajo de McMichael y Bear (McMichael y Bear 2010) en el que se estudian los posibles impactos sobre la salud de la población en el horizonte de los próximos 300 años, en los que se prevén incrementos en la temperatura de más de 10°C.

4.1.2. Previsiones sobre los efectos del frío

En cuanto a los efectos del frío, podría pensarse que un aumento global de las temperaturas podría hacer disminuir la estacionalidad de la mortalidad, que como ya se ha visto tiene un marcado carácter invernal. Pero las predicciones de los expertos no son demasiado concluyentes al respecto (McMichael et al. 2006).

En primer lugar, la relación entre el frío y la salud está condicionada por numerosas variables que hacen que no exista una relación unívoca entre ambos a lo largo de todo el planeta, sino que existen características locales que modifican el aumento de sus efectos: factores sociales, económicos y culturales que no se sabe como evolucionarán en futuros escenarios de cambio climático.

En segundo lugar, el cambio climático no se define como un aumento lineal de las temperaturas en todas las latitudes, ya que pueden existir particularidades climatológicas regionales que provoquen el aumento de fenómenos puntuales como tormentas, inundaciones o incluso olas de frío. Es decir, el aumento de las temperaturas medias invernales no tiene porque implicar una reducción de la frecuencia o gravedad de los episodios de frío extremo.

Y en tercer lugar, no está del todo claro que el aumento de la mortalidad en invierno esté provocado simplemente por la propia influencia del frío. El papel que juegan variables como la estacionalidad de los cambios hematológicos en las enfermedades circulatorias, o la estacionalidad de agentes infecciosos en las enfermedades respiratorias y circulatorias, está todavía sin resolver (McMichael et al. 2006).

En todo caso, basándose en las estimaciones realizadas para analizar el comportamiento de la mortalidad con diferentes modelos de predicción, se considera que el aumento de la mortalidad por calor será muy superior a la ligera reducción que se puede esperar de las muertes invernales (Kalkstein y Greene 1997). Incluso se ha descrito ya como un hecho en alguna región española donde se ha estudiado (Miron et al. 2008). Por otro lado, estudios realizados en Europa (Eurowinter Group 1997) indican que existe un impacto del frío sobre la mortalidad superior en los lugares con inviernos más templados que en aquellos con inviernos más crudos. Recientes estudios en EEUU (Barnet et al. 2012) y Corea del Sur (Ha et al. 2011) así lo confirman. Esto es debido por un lado a la adaptación fisiológica a las bajas temperaturas y, por otro, a la infraestructura de los hogares que hace que sean mejores las condiciones para luchar contra el frío en lugares habituados a las olas de frío que en aquellos en los que son menos frecuentes (Eurowinter Group 1997).

El justificado interés en el impacto de las temperaturas elevadas, es decir el calor extremo sobre la salud, no debería llevar a no considerar los efectos que las temperaturas frías pueden causar en la población. En el proyecto PHEWE se encontró una relación entre el descenso de la temperatura durante el semestre frío (de octubre a marzo) y la mortalidad. Para el conjunto de las 15 ciudades participantes el descenso de 1°C de temperatura se asoció con un incremento del 1,35% en la mortalidad por todas las causas orgánicas. Dicho incremento fue de 1,72% para la mortalidad por causas cardiovasculares y del 3,30% para las respiratorias (Analitis et al. 2008).

4.2. Otras consideraciones

Es especialmente difícil prever cual va a ser el comportamiento de las poblaciones en un futuro escenario de cambio climático. Se sabe

que la temperatura de confort varía con la latitud y existe una adaptación o habituación a las características climáticas locales. Pero todo hace pensar que un aumento rápido de las temperaturas hará difícil que las relaciones y hábitos de una sociedad cambien con una velocidad suficiente.

Si nos ceñimos a lo expuesto hasta ahora parece que los efectos del calor van a ser cada vez más importantes. La inmensa mayoría de los trabajos anteriormente citados pueden considerarse incompletos, quizá por la dificultad de abordar el problema en toda su dimensión. No se trata únicamente de que vaya a haber más olas de calor, como indican los modelos climatológicos. Si se admiten como ciertos los resultados aquí mostrados de que las temperaturas de disparo de la mortalidad tienden a bajar como consecuencia del envejecimiento de la población, el número de olas de calor aumentará mucho más de lo previsto en gran parte de los modelos que consideran las temperaturas umbrales inamovibles, lo que supone que se requerirá la revisión y actualización continua de los criterios para la definición de olas de calor en el futuro. Además, todos los trabajos concluyen que el grupo más afectado será el de mayores de 65 años. Si nos atenemos a los datos del Instituto Nacional de Estadística para nuestro país, el número de mayores de 65 años constituían, en el año 2011, el 18,6% de la población (*tabla 4*); para el 2019 será el 18,99%; y para el 2049 será el 31,49 %.

Con los datos anteriores lo que se quiere recalcar es que vamos a encontrarnos ante un escenario en el que las olas de calor van a ser cada vez más frecuentes y más intensas por dos motivos: 1) cada vez la temperatura va a ser más elevada como consecuencia del cambio climático, y 2) el umbral de disparo de la mortalidad va a ser más bajo por el envejecimiento de la población. Además, el número de población susceptible al calor será cada vez más elevado como consecuencia del envejecimiento de la población, por lo que

cabe esperar que sus efectos en la salud sean cada vez más importantes (Linares y Díaz, 2008). Ante este panorama de preocupación, la única opción válida desde nuestro punto de vista es la mitigación de estos efectos mediante la puesta en marcha de planes de actuación que minimicen los impactos sobre la salud. Ahora más que nunca estos planes han de estar diseñados de forma exhaustiva y con el máximo de información sobre las consecuencias sobre la salud de los eventos térmicos extremos.

5. Zonas y grupos de población más vulnerables

Las zonas más vulnerables a los extremos térmicos esperados deben identificarse basándose en diferentes parámetros. Por un lado se deben considerar los lugares donde, según los diferentes escenarios, se espera una mayor incidencia tanto en frecuencia como en intensidad de los extremos térmicos. Por otro lado, es bien conocido que entre las personas de edad avanzada, más vulnerables, el efecto de las temperaturas extremas es mayor (Díaz et al. 2002a; OMS 2004). Por ello, será en los lugares con mayor porcentaje de población mayor de 65 años donde el efecto será más importante, aunque no se debe olvidar la asociación entre la mortalidad y el calor en personas menores de 64 años (Linares y Díaz 2008).

Otro factor decisivo a la hora de determinar las zonas más vulnerables es el factor socioeconómico. Estudios realizados en Estados Unidos (Davis et al. 2003) Italia (Michelozzi et al. 2006) o en la ciudad de Londres (Carson et al. 2006) ponen de manifiesto una evolución decreciente de la mortalidad en relación con la temperatura atribuida por algunos autores a la mejora de las condiciones socioeconómicas a lo largo del tiempo (O'Neill et al. 2003; Hajat et al. 2005).

Tabla 4. Porcentaje de personas con más de 64 años de edad, por provincia y ciudad autónoma, en orden creciente

Provincias	Año 2011 (%)	Provincias	Año 2011 (%)
Melilla	11,2	Navarra	18,0
Las Palmas	12,2	Lérida	18,2
Ceuta	12,2	Ciudad Real	18,5
Almería	12,3	Cantabria	18,8
Murcia	13,7	La Rioja	18,9
Cádiz	13,8	Pontevedra	19,0
Islas Baleares	14,0	Valladolid	19,4
Santa Cruz de Tenerife	14,6	Zaragoza	19,4
Málaga	14,6	Guipúzcoa	19,7
Sevilla	14,6	Vizcaya	20,4
Huelva	15,0	Cáceres	20,6
Guadalajara	15,2	Burgos	21,3
Madrid	15,4	La Coruña	21,3
Gerona	15,8	Segovia	21,4
Tarragona	15,9	Huesca	21,7
Granada	15,9	Asturias	22,1
Castellón	16,1	Cuenca	22,3
Alicante	16,3	Palencia	22,7
Valencia	16,5	Salamanca	23,6
Toledo	16,6	Teruel	23,6
Córdoba	17,2	Ávila	24,1
Barcelona	17,4	León	24,5
Albacete	17,6	Soria	24,5
Jaén	17,7	Lugo	27,5
Álava	17,8	Zamora	28,0
Badajoz	17,9	Orense	28,2
Media Nacional: 18,6			

Fuente: INE, año 2012

Frío

- El aumento de las temperaturas medias invernales no implica necesariamente una reducción de la frecuencia o intensidad de episodios de frío extremo.
- El aumento de la mortalidad por calor será muy superior a la ligera reducción que se puede esperar de las muertes invernales.

Es decir, existen dos factores que parecen contrapuestos, por un lado, el envejecimiento de la población que indicaría un incremento en el efecto de la temperatura sobre la mortalidad y, por otro lado, una mejora de las condiciones socioeconómicas que amortiguaría ese efecto. Recientemente se ha realizado un estudio en nuestro país (Mirón et al. 2008; Mirón et al. 2010) que analiza la evolución temporal de la mortalidad diaria relacionada con las altas temperaturas en Castilla-La Mancha en el periodo 1975-2003. Los resultados de este estudio indican que la temperatura de confort o de mínima mortalidad ha ido disminuyendo a lo largo del periodo de estudio y que el efecto de las altas temperaturas ha aumentado. Es decir, pese a que se han detectado un incremento económico y mejoras de todo tipo de infraestructuras (el número de viviendas con aire acondicionado ha pasado del 3,8% al 20,6%) el envejecimiento de la población, medido por el número de personas mayores de 65 años, prevalece sobre las mejoras socioeconómicas.

6. Principales opciones adaptativas

Son numerosos los factores que pueden influir en el impacto de los extremos térmicos sobre la población y, por tanto, en su adaptación a los eventos extremos. En primer lugar son de gran importancia los factores meteorológicos a escala local a la hora de predecir la ocurrencia de un determinado extremo térmico. Así, por ejemplo, las situaciones que produjeron la ola de calor en Madrid y Lisboa durante el verano de 2003 fueron diferentes en uno y otro lugar (García et al. 2005).

Como se ha visto, el grupo más afectado, que no el único, por los extremos térmicos es el de mayores de 65 años, por lo que habrá que articular las medidas de adaptación en función de la distribución por edad de la población de cada lugar.

Además, influyen factores asociados al desarrollo económico y cultural que pueden condicionar el impacto de los extremos térmicos. Por ejemplo, y pese al aumento de emisiones de GEI asociado, ha quedado clara la influencia de los sistemas de calefacción en la mitigación de las olas de frío (Wilkinson et al. 2001) o de los aparatos de aire acondicionado en el caso de las olas de calor (Curriero et al. 2002).

Se trata de articular sistemas de alerta *in situ* ante posibles extremos térmicos. Cada ciudad necesita desarrollar un sistema diferente basado en sus condiciones meteorológicas específicas, en su propia pirámide de población, en la respuesta de su infraestructura, del entramado social y de sus recursos hospitalarios (Montero et al. 2010).

Una importante opción adaptativa podría ser la adecuada planificación urbana para mitigar los efectos de isla térmica y la existencia de construcciones bioclimáticas que aseguren el confort de sus habitantes con el mínimo consumo energético.

Aunque la población envejecida es, sin lugar a dudas, el colectivo más afectado, existen otros grupos, como las personas con diversas patologías de base, que pueden ver agravadas sus dolencias. La experiencia reciente de

Vulnerabilidad

➤ En su análisis se consideran:

- el envejecimiento de la población que indicaría un incremento en el efecto de la temperatura sobre la mortalidad y
- la mejora de las condiciones socioeconómicas que amortiguaría el efecto.

2010 nos ha enseñado que personas aparentemente sanas han fallecido por causa del calor al realizar prácticas tales como hacer deporte al aire libre en horas de intenso calor. Evidentemente estos hechos son puntuales y no son relevantes desde el punto de vista epidemiológico cuando se analiza el impacto de las temperaturas extremas sobre la mortalidad diaria.

A nivel europeo existe la creciente evidencia de que los efectos de los días con ola de calor sobre la mortalidad y la morbilidad eran importantes. Una amplia variedad de enfermedades crónicas y tratamientos médicos, y determinados tipos de ocupaciones aumentan el riesgo de estrés por calor en las personas. En toda Europa, la vivienda y las condiciones socioeconómicas muestran una influencia variable sobre los efectos del calor en la salud. Sobre la base de los resultados generados por el proyecto EuroHEAT (OMS 2009) se han desarrollado dos herramientas para intervenciones de salud pública: la información meteorológica en página web y la orientación para los planes de salud de acción frente al calor (Organización Mundial de Meteorología OMM y OMS 2009). A lo anterior habría que añadir la necesidad de información a la población sobre medidas básicas a seguir ante extremos térmicos y la correcta formación y adecuación de los

servicios sanitarios ante posibles aumentos de las enfermedades relacionadas con las olas de calor y frío.

También se han realizado a nivel europeo estudios sobre la efectividad de los planes de alerta frente a olas de calor. En Francia se evaluó (Fouillet et al. 2008) la eficacia de las medidas preventivas y los sistemas de alerta establecidos como consecuencia de la ola de calor de 2003. Se analizó la eficacia de esas medidas mediante la comparación del incremento de mortalidad observado durante la ola de calor de 2006 con el incremento de mortalidad esperada según las fórmulas matemáticas establecidas a partir de los datos de 2003. Se observó que el incremento de la mortalidad durante la ola de calor de 2006 fue notablemente inferior a la predicha por el modelo matemático. Este resultado puede ser atribuido a una disminución de la vulnerabilidad de la población al calor, así como al aumento de la conciencia sobre los riesgos relacionados con las temperaturas extremas a partir de 2003, a las medidas preventivas y a la puesta a punto del sistema de alerta. Una revisión detallada de los estudios sobre la evaluación de los diferentes planes de prevención aplicados en diferentes lugares de Europa y América del Norte, realizada recientemente (Bassill y Cole 2010) viene a concluir que aunque los planes tienen resultados

Opciones adaptativas propuestas

- Articular sistemas de alerta *in situ* ante posibles extremos térmicos.
- Adecuada planificación urbana y construcciones bioclimáticas.
- Provisión de información meteorológica.
- Planes de prevención basados en umbrales de alerta realistas, en estudios epidemiológicos que relacionen temperatura con indicadores de salud.
- Información a la población sobre medidas básicas a seguir ante extremos térmicos.
- Formación y adecuación de los servicios sanitarios.

positivos desde el punto de vista de la salud pública, persiste la duda de si estos planes tienen la repercusión esperada en los grupos más vulnerables como los “sin techo” o los ancianos.

Un estudio realizado en España en el año 2012 considera evidente que los planes de prevención deben estar basados en umbrales de alerta que sean realistas. Es decir, basados en estudios epidemiológicos que relacionen temperatura con el indicador de salud seleccionado (normalmente mortalidad diaria) y han de ser realizados al menos a escala provincial para tener en cuenta los factores locales que tanto a nivel meteorológico, demográfico o socioeconómico influyen en la determinación de estos umbrales (Montero et al. 2010c).

7. Principales incertidumbres y desconocimientos

Son múltiples las incertidumbres que existen sobre cómo el cambio climático va a afectar a la relación entre temperaturas extremas y salud.

Por un lado están las relacionadas con el conocimiento de la forma en que se asocian la temperatura y la mortalidad (Íñiguez 2010). Además, las sustanciales diferencias entre la magnitud de esta asociación en capitales de provincia próximas (Tobías et al. 2012) vienen a subrayar la enorme dificultad que tiene la determinación real del impacto del calor sobre la mortalidad y la importante variabilidad geográfica.

Como se ha citado con anterioridad, son múltiples los factores que influyen: la pirámide de población, las condiciones socioeconómicas, la existencia de grupos vulnerables diferentes de unos lugares a otros. A esto hay que añadir la dificultad de estimar cómo van a comportarse estas variables en el futuro. Quizás sea la evolución demográfica la que presenta menos incertidumbres al respecto, ya que se estima que España seguirá envejeciendo en las próximas décadas (Abellán

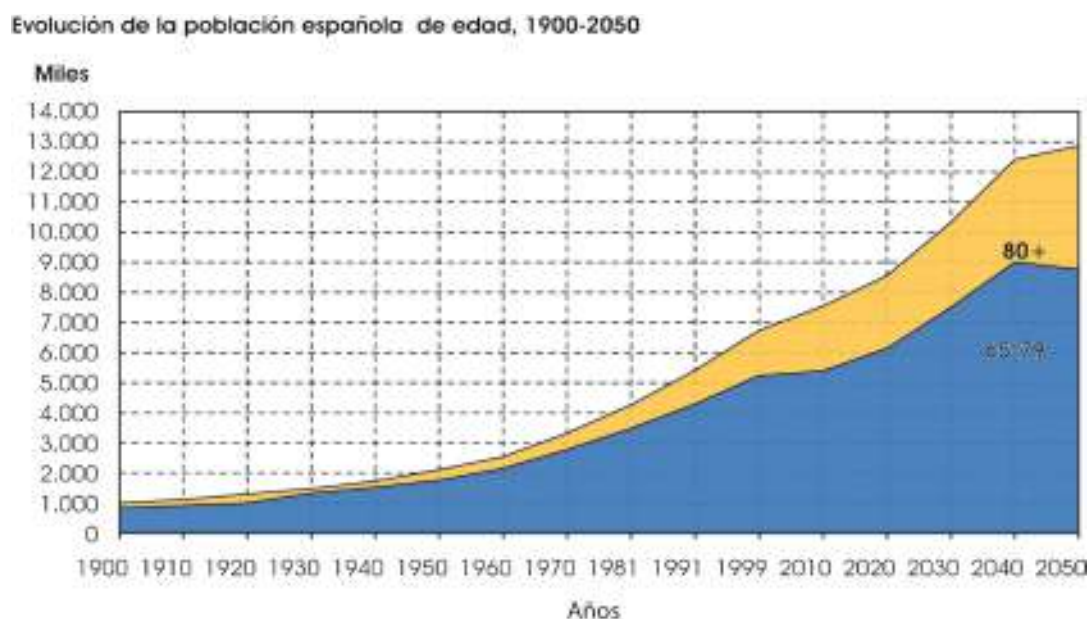
2002). Las diferencias del proceso de envejecimiento respecto del resto de países europeos o de tipo occidental, reside en su rapidez (en treinta años se ha duplicado su número de mayores), su intensidad y su calendario (*figura 3 y tabla 5*). Se prevé que en 2050 habrá una persona con una edad igual o superior a los 65 años por casi cada tres ciudadanos. El Instituto Nacional de Estadística calcula que el mayor incremento de población se producirá en el grupo de edad de mayores de 64 años, que crecerá un 19,2% en la próxima década (INE 2009).

Aunque la incertidumbre asociada a la predicción de la variable demográfica es limitada, sí existe indeterminación a la hora de cuantificar los impactos futuros del calor sobre la mortalidad, ya que no sólo variará el aumento de la población diana sino que también se producirá un cambio en los umbrales de temperatura a partir de los cuales se producirá un incremento de mortalidad por calor (Mirón et al. 2008) y, por tanto, de la magnitud del impacto (Mirón et al. 2010).

El problema se complica aún más si el indicador de salud seleccionado no es la mortalidad diaria sino, por ejemplo, el número de ingresos hospitalarios producidos por las altas temperaturas. Algunos trabajos realizados en nuestro país (Díaz y Linares 2008) indican un comportamiento claramente diferente al encontrado para la mortalidad.

También existen incertidumbres en cuanto a la evolución de las condiciones socioeconómicas que, como se ha citado anteriormente, influyen a la hora de cuantificar la magnitud de la asociación. Se desconoce cómo va a ser esa evolución. La actual crisis económica en Europa, y particularmente en España, está evidenciando la complejidad de hacer cualquier estimación sobre cuáles serán las condiciones socioeconómicas en un futuro más o menos próximo y su estrecha relación con la prestación de servicios en sanidad y salud pública.

Figura 3. Censo de población. Proyecciones de la población española.



Nota: De 1900 a 1999 los datos son reales; de 2010 a 2050 son proyecciones.

Fuente: INE, Censo de población; Renovación del padrón municipal de habitantes a 1 de enero de 1999; Proyecciones de la población española 2001, versión electrónica

Tabla 5. Evolución de la población mayor. España 1900-2050 (miles)

Años	TOTAL ESPAÑA			POBLACIÓN	
	Absoluto	65 y más	65-79	80 y más	65+%
1900	18.618	968	853	115	5,2
1910	19.996	1.106	973	133	5,5
1920	21.390	1.217	1.074	143	5,7
1930	23.678	1.441	1.264	177	6,1
1940	25.878	1.690	1.467	223	6,5
1950	27.977	2.023	1.750	273	7,2
1960	30.529	2.505	2.136	369	8,2
1970	34.041	3.291	2.767	524	9,7
1981	37.683	4.237	3.512	725	11,2
1991	38.872	5.352	4.204	1.148	13,8
1999	40.202	6.740	5.224	1.516	16,8
2010	42.270	7.525	5.354	2.171	17,8
2020	43.356	8.562	6.084	2.478	19,7
2030	43.387	10.301	7.503	2.798	23,7
2040	42.791	12.351	8.998	3.353	28,9
2050	41.304	12.687	8.757	4.109	31,2

Nota: de 1900 a 1999 los datos son reales; de 2010 a 2050 se trata de proyecciones

Fuente: INE, Censos de población. Padrón municipal, renovaciones, varios años. INE, Proyecciones de la población de España, 2001, versión electrónica

Otra de las grandes incógnitas en este campo se centra en la adaptación al cambio climático. Se han articulado planes de prevención con el objeto de minimizar los impactos del calor en la salud de la población. Los resultados obtenidos en otros países (Bassil y Cole 2010) muestran su efectividad en la reducción de muertes debidas a las temperaturas extremadamente elevadas, pero en España no se ha realizado hasta el momento una evaluación de dichos planes. El Proyecto PHASE (*Public Health Adaptation Strategies to Extreme weather events*) que actualmente se está realizando en Europa y en el que participa la ciudad de Valencia, pretende despejar algunas incógnitas y elaborar estrategias de adaptación en salud pública destinadas a minimizar los efectos de los eventos meteorológicos extremos sobre la población.

Por último, también existen incertidumbres en la variable independiente “temperatura”. Hay que recordar que las predicciones de los modelos climatológicos se basan en distintos escenarios de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que a su vez se ven afectados por condicionantes económicos. A lo anterior hay que añadir los posibles márgenes de error que acompañan a cualquier predicción climatológica.

8. Detección del cambio

Es esencial disponer de modelos de evolución de la mortalidad basados en series temporales lo suficientemente extensas en el tiempo que permitan detectar precozmente los posibles cambios en sus patrones de comportamiento. No se pueden detectar evoluciones anómalas en una serie temporal si no se conoce el comportamiento esperado y, lo que es más importante, si no se comparan esos datos esperados con los datos reales. Es preciso insistir en la necesidad de agilizar y aumentar la fiabilidad de los registros de mortalidad, no sólo como indicador de sus posibles extremos sino también como base de cualquier posterior investigación. Así estos registros podrían

utilizarse incluso para detectar si la intervención realizada ante una previsión de una ola de calor-frío ha sido efectiva.

En esta línea, es de destacar la iniciativa llevada a cabo por el MSSSI que se basa en la obtención rápida de datos sobre mortalidad general y la identificación de señales de alerta que indiquen un exceso de mortalidad que pueda estar asociado a las altas temperaturas. El objetivo es mejorar la capacidad de prevención y respuesta, y para ello el Centro Nacional de Epidemiología del Instituto de Salud Carlos III, responsable del sistema de monitorización de la mortalidad diaria, informa diariamente al MSSSI de las señales de alerta detectadas, según los criterios definidos en el Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud.

9. Implicaciones para las políticas

Aunque se ha insistido en el carácter local de los planes de prevención y actuación como uno de los instrumentos de adaptación con el objetivo de minimizar los impactos de las temperaturas extremas sobre la salud de la población, dichos planes han de obedecer a políticas generales que sirvan de marco para el desarrollo de las actividades. Con el fin de mejorar y fortalecer la capacidad del sector sanitario español para afrontar la lucha frente al cambio climático, desde el MSSSI y el MAGRAMA, y vinculándolo a las políticas del Gobierno en Cambio Climático y Salud, se ha creado el OSCC, como instrumento de análisis, diagnóstico, evaluación y seguimiento de los impactos del cambio climático en la salud pública y en el Sistema Nacional de Salud. Se evalúan escenarios y modelos, para de esta forma ayudar a la toma de decisiones, a priorizar problemas y a proponer acciones que los resuelvan.

Siguiendo el posicionamiento de la OMS frente al cambio climático (OMS 2003) se

considera necesario desarrollar las siguientes medidas de intervención a medio plazo:

1. Facilitar la organización de foros interdisciplinarios entre políticos y técnicos para identificar las necesidades y los mecanismos de actuación.
2. Facilitar el desarrollo de equipos multidisciplinares que hagan llegar a la población los potenciales riesgos sobre la salud relacionados con los extremos térmicos y la puesta en marcha de medidas para mitigar sus efectos.
3. Facilitar el desarrollo de mecanismos que permitan la pronta evaluación de los planes de intervención con el objeto de su mejora y aumento de eficacia.

En cuanto a los Planes de actuación en salud pública basados en sistemas de alerta temprana que permitan identificar situaciones de riesgo antes de que se produzcan, en España actualmente existe un Plan Nacional y numerosos Planes Autonómicos. Se recogen a continuación:

A *nivel nacional*, se ha desarrollado el “*Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud año 2013*” (MSSSI 2013). Teniendo en cuenta el posicionamiento anteriormente descrito de la OMS frente al cambio climático, el principal objetivo es la prevención de daños a la salud provocados por el exceso de calor.

El Plan establece las medidas necesarias para reducir los efectos asociados a las temperaturas excesivas y coordinar a las instituciones de la Administración del Estado implicadas. Así mismo propone las acciones que en esta materia puedan ser realizadas por las Comunidades Autónomas y la Administración Local.

Otra de las prioridades del Plan 2013 ha sido la aplicación del sistema de monitorización de la mortalidad diaria anteriormente mencionado.

A *nivel autonómico*, la mayoría de las Comunidades también han desarrollado planes de vigilancia para la prevención y actuación frente a olas de calor y/o temperaturas extremas. A continuación se indican algunos de ellos:

- Plan de vigilancia y prevención de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud (Junta de Extremadura 2013)
- Plan de vigilancia y control de los efectos del exceso de temperaturas (Gobierno de La Rioja 2013)
- Plan de prevención de los efectos de las altas temperaturas para el verano 2013 (Gobierno del Principado de Asturias 2013)
- Vigilancia y control de los efectos de las olas de calor 2013 (Gobierno de la Comunidad de Madrid 2013)
- Plan andaluz para la prevención de los efectos de las temperaturas excesivas sobre la salud (Junta de Andalucía 2013)
- Plan de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud (Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha 2010)
- Plan de Actuación para prevenir los efectos de la ola de calor sobre la salud (POCS) (Generalitat de Cataluña 2013)
- Plan de prevención en situación de temperaturas elevadas en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV 2008) (Gobierno Vasco 2008)
- Plan de acción para la prevención de los efectos de las temperaturas extremas sobre la salud en Aragón 1 de junio a 15 de septiembre de 2011 (Gobierno de Aragón 2011)
- Programa de prevención y de atención a los problemas de salud derivados de las

temperaturas extremas en la Comunidad Valenciana. Ola de Calor. 2013. (Generalitat Valenciana 2013)

En los diversos planes autonómicos se especifican las actuaciones a realizar, para contrarrestar los efectos en salud de los eventos de temperaturas excesivas. A continuación se indican algunos de los objetivos generales que tratan de cumplir cada uno de ellos:

- Vigilar y alertar ante situaciones de calor extremo a lo largo del verano.
- Vigilar la morbimortalidad asociada al calor extremo utilizando información de los ingresos hospitalarios relacionados con el calor.
- Crear los instrumentos de coordinación y seguimiento necesarios.
- Establecer grupos sensibles y planificar actuaciones específicas.
- Informar a la población general del riesgo y de las medidas de prevención.
- Informar a los profesionales de salud, asistencia social y atención de emergencias.
- Disminuir la morbimortalidad ocasionada por el aumento de temperatura ambiental.
- Adaptar los sistemas de salud a los posibles eventos ocasionados por temperaturas extremas.

La coordinación y armonización de las actuaciones y planes autonómicos, el nacional (y también en el ámbito europeo y global) es fundamental desde la perspectiva del cambio climático, que no conoce fronteras físicas, administrativas o políticas. Además de la importancia de coordinar los planes de las administraciones autonómicas y central, un aspecto a desarrollar sería el papel del Centro Europeo de Control de Enfermedades (ECDC)

en la monitorización y vigilancia en salud pública de los riesgos para la salud asociados al cambio.

10. Principales necesidades de investigación

Las principales necesidades de investigación deberán dirigirse fundamentalmente a eliminar en lo posible las incertidumbres anteriormente señaladas.

Así, en primer lugar, será necesario analizar las condiciones atmosféricas a la menor escala meteorológica posible, de forma que permitan su predicción con la suficiente antelación, así como la duración y la intensidad del evento meteorológico extremo, al menos en cada provincia.

Se debería profundizar en el estudio de los mecanismos de adaptación fisiológica y el papel que juegan las variables socioeconómicas en los procesos adaptativos. Los estudios de evolución temporal, en distintos periodos de tiempo, del comportamiento de la morbimortalidad en función de los extremos térmicos, se perfilan como adecuados para inferir este tipo de tendencias.

En cuanto a las diferentes variables que modulan la relación entre los extremos térmicos y la salud (pirámide poblacional, duración e intensidad de la ola, humedad relativa, etc.), se describen con claridad las certezas e incertidumbres actuales con respecto a todas ellas. Pero hay una variable relativamente reciente: la relación entre la mortalidad invernal y la estival (Rocklöv J 2008; Ha et al.2011), sobre cuyo conocimiento se debería profundizar, puesto que es un elemento a tener en cuenta en las evaluaciones de los planes de prevención. Una ola de calor intensa, tras un invierno con extremos térmicos muy marcados o con epidemias de gripe severas, podrá estar asociada con

un menor incremento de la mortalidad por motivos diferentes al de la efectividad del plan de prevención y viceversa.

Así mismo, resulta esencial la investigación a escala local del comportamiento de la mortalidad asociada a las temperaturas extremas, con especial atención a la incidencia de estos extremos en los ingresos hospitalarios según causas específicas y grupos de edad, que permita discernir, si es posible, el comportamiento de cada grupo de población frente a la temperatura.

Por último, se debería evaluar la efectividad y funcionamiento de los planes de actuación ante extremos térmicos en aquellos lugares donde se hayan desarrollado y utilizar estas experiencias en los de nueva aplicación.

Es importante contar con un protocolo de actuaciones bien definidas frente a los extremos térmicos, tanto en el ámbito de la promoción de la salud como en la asistencia sanitaria. En la literatura se encuentran actuaciones eficientes y otras que no lo son tanto. Por ejemplo, la divulgación pasiva de consejos o avisos de prevención contra el calor en medios de comunicación de masas (televisión, radio, etc.) es poco permeable en grupos especialmente vulnerables como el de los ancianos, especialmente en aquellos con altos niveles de dependencia o con un grado de aislamiento social importante (Kovats et

al. 2006; Belmin et al. 2007). Sin embargo sí parecen más útiles la estandarización de protocolos de diagnóstico e intervención en los servicios de emergencias (Faunt et al. 2008) y de la prescripción de determinados fármacos durante los extremos térmicos (Martin-Latry 2007), o la vigilancia activa de grupos vulnerables (Kalkstein y Nichols 1996). Todas estas iniciativas deberían estar encuadradas en un marco europeo, de tal forma que sus objetivos, calidad y efectividad puedan ser comparados con unas referencias comunes para todos los países del mismo entorno (Ballester et al. 2006).

- Las variables en las que se sustentan las **Principales Incertidumbres** son: temperatura y predicción climatológica, pirámide de población, condiciones socioeconómicas, existencia de grupos vulnerables diferentes según los lugares y la dificultad de estimar su comportamiento futuro.
- Las **Principales Necesidades de Investigación**: Análisis de condiciones atmosféricas a la menor escala meteorológica posible; Estudio de mecanismos de adaptación fisiológica y papel de las variables socioeconómicas en los procesos adaptativos; Estudio de la relación entre mortalidad invernal y la estival; Investigación a escala local del comportamiento de la mortalidad asociada a temperaturas extremas atendiendo a los ingresos hospitalarios según causas específicas y grupos de edad; Evaluación de la efectividad y funcionamiento de los planes de actuación ante extremos térmicos.

11. Bibliografía

- Abellán A.** Indicadores demográficos. Envejecer en España. II Asamblea Mundial sobre Envejecimiento. CSIC. 2002. Disponible en url: <http://www.imersomayores.csic.es/documentos/documentos/imsero-envespcapitulo1-01.pdf>.
- AEMET.** Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010.
- AEMET.** Un verano extremadamente seco y cálido. 2012. Disponible en: http://www.aemet.es/noticias2012/09/climatico_verano12.
- Alberdi JC, Díaz J.** Modelización de la mortalidad diaria en la Comunidad Autónoma de Madrid (1986-1991). Gac Sanit 1997; 11:9-15.
- Alberdi JC, Díaz J, Montero JC, Mirón IJ.** Daily mortality in Madrid community 1986-1992: Relationship with meteorological variables. Eur J Epidemiol 1998; 14:571-578.
- Alderson MR.** Season and mortality. Health trends 1985; 17:87-96.
- Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, Baccini M, Forsberg B, Bisanti L et al.** Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. Am J Epidemiol. 2008 Dec 15; 168(12):1397-408.
- Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, Anderson HR, D'Ovidio M, Menne B et al.** Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios. J Epidemiol Community Health 2011; 65: 64-70.
- Ballester F, Corella D, Pérez-Hoyos S, Sáez M, Hervás A.** Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain 1991-1993. Int J Epidemiol 1997; 155:80-87.
- Ballester F, Michelozzi P, Iñiguez C.** Weather, climate and public health. J Epidemiol Community Health 2003; 57:759-760.
- Ballester F, Díaz J, Moreno JM.** Cambio climático y salud pública: escenarios después de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto. Gac Sanit 2006; 20(supl1):160-174.
- Barnett AG, Hajat S, Gasparrini A, Rocklöv J.** Cold and heat waves in the United States. Environ Res. 2012; 112:218-24.
- Bassil KL y Cole DC.** Effectiveness of public health interventions in reducing morbidity and mortality during heat episodes: a structured review. Int J Res Public Health 2010; 7:991-1001.
- Basu R.** High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. Environ Health 2009; 8:40 Doi: 10.1186/1476-069X-8-40.
- Belmin J, Auffray JC, Berbezier C, Boirin P et al.** Level of dependency: a simple marker associated with mortality during the 2003 heatwave among French dependent elderly people living in the community or in institutions. Age and Ageing. 2007; 36(3):298-303.
- Braga AI, Zanobetti A, Schwartz J.** The time course of weather-related deaths. Epidemiology 2001; 12:662-667.
- Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J.** The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. Environ Health Perspect. 2002 Sep; 110(9):859-63.
- Carson C, Hajat Sh, Armstrong B Wilkinson P.** Declining Vulnerability to Temperature-related Mortality in London over the 20th Century. Am J Epidemiol 2006; 164:77-84.

- Curriero FC, Heiner KS, Samet Jm, Zeger SL, Strug L, Patz JA.** Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern of the United States. *Am j Epidemiol* 2002; 155:80-87.
- Davis RE, Knappenberger PC, Michaels PJ et al.** Decadal changes in summer mortality in US cities. *Int J Biometeorol* 2003; 47: 166-175.
- Dessai S.** Heat stress and mortality in Lisbon. Part II. An assessment of the potential impacts of changing climate. *Int J Biometeorol* 2003; 48:37-44.
- Díaz J, Jordán A, García R, López C, Hernández E, Otero A.** Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int Arch Occup Environ Health*, 2002a; 75:163-70.
- Díaz J, García R, Velázquez F, López C, Hernández E, Otero A.** Effects of Extremely Hot Days on People older than 65 in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int J Biometeorol.* 2002b; 46:145-149.
- Díaz J, García R, Prieto L, López C, Linares C.** Mortality impact of extreme winter temperatures. *Int J Biometeorol* 2005; 49:179-183.
- Díaz J, García-Herrera R, Trigo RM, Linares C, Valente MA, De Miguel JM, Hernández E.** The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *Int J Biometeorol.* 2006 Jan; 50(3):159-66.
- Díaz J, Linares C.** Resumen ejecutivo cambio climático: temperaturas extremas y salud. Noviembre, 2007. Disponible en: <http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/cambioClimaticoTemperaturasExtremasSalud.pdf>.
- Díaz J, Linares C.** Impact of high temperatures on hospital admissions: comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid). *Eur J Public Health* 2008; 18:318-322.
- Donaldson GC, Kovats RS, Keating WR, McMichael AJ.** Heat and cold-related mortality and morbidity and climate change. Expert Group on Climate Change and Health in the UK. UK Department of Health 2002; 70-80.
- D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K et al.** The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 2010; 9:37.
- Eurowinter Group.** Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *The Lancet* 1997; 349:1341-1346.
- Faunt JD, Wilkinson TJ, Aplin P, Henschke P, Webb M, Penhall RK.** The effect in the heat-related hospital presentations during ten day heat wave. *Internal Med J* 2008; 25:117-121.
- Fischer EN, Schär C.** Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heat-waves. *Nature geoscience.* Doi: 10.1038/Ngeo866: 1-2.
- Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A et al.** Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int. J. Epidemiol* 2008; 37:309-317.
- García R, Díaz J, Trigo R, Hernández E, Dessai S.** Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae.* 2005; 23:239-251.
- Generalitat Valenciana.** Programa de prevención y de atención a los problemas de salud derivados de las temperaturas extremas en la Comunidad Valenciana. Ola de Calor. 2013. Disponible en url <http://www.sp.san.gva.es/DgspPortal/docs/ProgramaOlaCalor2013.pdf>

- Generalitat de Cataluña.** Plan de Actuación para Prevenir los Efectos de la Ola de Calor sobre la Salud (POCS), verano 2010. Disponible en url: <http://www.gencat.cat/estiu/cas/salut.htm>.
- Gobierno de Aragón.** Plan de acción para la prevención de los efectos de las temperaturas extremas sobre la salud en Aragón 1 de junio a 15 de septiembre de 2011. Disponible en url: http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/SaludConsumo/Profesionales/13_SaludPublica/plan%20temp%20ext%202011.pdf.
- Gobierno de Asturias.** Plan de prevención de los efectos de las altas temperaturas para el verano 2013. Disponible en url: <http://www.asturias.es/portal/site/webasturias/menuitem.m.6282925f26d862bcbc2b3510f2300030/?vgnextoid=e72fec1decb2f310VgnVCM10000097030a0aRCRD&i18n.http.lang=es>.
- Gobierno de la Comunidad de Madrid.** Vigilancia y control de los efectos de las olas de calor, 2013. Disponible en url: http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1142580466649&language=es&pagename=PortalSalud%2FPage%2FPTSA_pintarContenidoFinal&vest=1142508916824.
- Gobierno de La Rioja.** Plan de alerta, prevención y control. La Rioja 2013. Disponible en url: <http://www.larioja.org/npRioja/default/defaultpage.jsp?idtab=502068&IdDoc=772968>.
- Gobierno Vasco.** Plan de prevención en situación de temperaturas elevadas en la CAPV – 2008. Disponible en url: http://www.osakidetza.euskadi.net/r85-cksalu06/es/contenidos/informacion/prevencion_calor/es_9838/adjuntos/planPrevencionOlaCalor2008_c.pdf.
- Ha J, Kim H, Hajat S.** Effect of previous-winter mortality on the association between summer temperature and mortality in South Korea. *Environ Health Perspect.* 2011; 119:542–546.
- Hajat S, Armstrong BG, Gouveia N et al.** Mortality displacement of heat-related mortality: a comparison of Delhi, Sao Paulo and London. *Epidemiology* 2005; 16:613-620.
- Havenit G.** Interaction of clothing and thermoregulation (review). *Exog Dermatology.* 2002; 1:221-268.
- Hayhoe K, Cayan D, Field CB.** Emissions pathways, climate change and impacts on California. *Proc Natl Acad Sci USA* 2004; 101:12422-12427.
- Huang C, Barnett AG, Wang X, Vaneckova P, Fitzgerald G, Tong S.** Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: A systematic review. *Environ Health Perspect* 2011; December 119(12):1681-1690.
- Huynen MM, Martens P, Scram D.** The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in Dutch population. *Environ Health Perspect* 2001; 109:463-470.
- INE.** Proyección de la Población de España a Corto Plazo, 2008-2018. 2009. Disponible en url: <http://www.ine.es/prensa/np538.pdf>.
- INE.** <http://www.ine.es/inebmenu/indice.htm>. 2012
- Íñiguez C.** Análisis de la relación entre temperatura y mortalidad mediante el modelo aditivo generalizado. Tesis doctoral. Universidad de Valencia. 2010.
- IPCC.** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. 2007.
- Junta de Andalucía.** Plan andaluz para la prevención de los efectos de las temperaturas excesivas sobre la salud. 2013. Disponible en url: http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/cs salud/galerias/documentos/p_4_p_1_vigilancia_de_la_salud/plan_calor_2013.pdf

- Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.** Plan de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud. Castilla-La Mancha, 2010. Disponible en url: <http://www.castillalamancha.es/gobierno/sanidadyasuntosociales/estructura/dgsspd/actuaciones/plan-de-prevencion-ante-las-altas-temperaturas>.
- Junta de Extremadura.** Plan de vigilancia y prevención de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud. 2013. Disponible en url: http://www.fempex.es/gestionWeb/imagenes/cgF_contenidosNoticias_484_173_Plan_Preencion_efectos_altas_temperaturas_Extremadura.pdf.
- Kalkstein LS y Nichols.** A new spatial synoptic classification: application to air-mass analysis. *Int. J. Climat.* 1996; 16: 983-1004.
- Kalkstein LS y Greene JS.** An evaluation of climate/mortality relationship in large US cities and the possible impacts of a climate change. *Environ Health Perspect.* 1997; 105:84-93.
- Knowlton K, Lynn B, Golberg RA, Rosenzweig C.** Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in New York City region. *Am J Public Health.* 2007; 97:2028-2034.
- Kovats R Sari, Ebi Kristie L.** Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health.* 2006; 16 (6): 592-599.
- Linares C, Díaz J.** Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria de acuerdo a diferentes grupos de edad. *Gac Sanit.* 2008; 22:115-119.
- Martin-Latry, K, Marie-Pierre MP Goumy, Philippe P Latry, Claude C Gabinski, Bernard B Bégaud, Isabelle I Faure, Héléne H Verdoux** *Eur Psychiatry* 2007; 22 :335-8.
- Mckenbach JP, Kunts AE, Looman CWN.** Seasonal variation in mortality in the Netherlands. *J Epidemiol Community Health.* 1992; 6:261-265.
- McMichael AJ, Wooddruff RE, Whetton P.** Human health and climate change in Oceania: a risk assessment 2002. Canberra: Commonwealth of Australia.
- McMichael AJ, Wooddruff RE, Hales S.** Climate change and human health: present and future risk. *The Lancet.* 2006; 367:859-869.
- McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats SR Pattendensen S, Hajat SH, Armstrong B et al.** International study of temperature, heat and urban mortality: the ISOTHURM Project. *Int J Epidemiol.* 2008; 37:1121-1131.
- McMichael AJ y Bear KBG.** Climate change: Heat, health and longer horizons. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2010; 107:9483-9484.
- Michelozzi P, DeSM, Accetta G, et al.** Temperature and summer mortality: geographical and temporal variations in four Italian cities. *J Epidemiol Community Health.* 2006; 60:417-23.
- Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J, Montero JC.** Time trends in minimum mortality temperatures in Castile-La Mancha (Central Spain): 1975–2003. *Int J Biometeorol.* 2008; 52:291-299.
- Mirón IJ, Montero JC, Criado-Alvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Efectos de los extremos térmicos sobre la mortalidad diaria en Castilla-La Mancha: evolución temporal 1975-2003. *Gac Sanit.* 2010; Doi:10.1016/j.gaceta.2009.10.016.
- Mirón IJ, Montero JC, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Intense cold and mortality in Castile-La Mancha (Spain): Study of mortality trigger thresholds from 1975 to 2003". *Int J Biometeorol.* 2012; 56:145-152.
- Montero JC, Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Mortality from cold waves in Castile-La Mancha (Spain). *Sci Total Environ.* 2010a; 408:5767-5774.
- Montero JC, Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Comparison between two methods

- of defining heat waves: retrospective study in Castile-La Mancha (Spain). *Sci Total Environ.* 2010b; 408:1544-1550.
- Montero JC, Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Aspects to be considered in extreme-temperature prevention plans, in the light of new research on the topic. *Public Health.* 2010c; 124:35-36.
- Montero JC, Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Difficulties of defining the term «heat wave» in public health. *Int J Environ Health Res.* 2012a. Doi: 10.1080/09603123.2012.733941
- Montero JC, Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J.** Relationship between mortality and heat waves in Castile-La Mancha (1975-2003): influence of local factors. *Sci Total Environ.* 2012b; 414:73-80.
- Moreno JM, editor.** Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. Universidad de Castilla – La Mancha 2005.
- MSSSI.** Plan nacional de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud año 2013. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2013/docs/planNacionalExcesoTemperaturas.pdf>.
- OMS.** Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. *Health and Global Environmental Change.* 2003; Series No.1.
- OMS.** Heatwaves:risksandresponses.HealthandGlobal Environmental Change. Series no.2. Ginebra 2004. OMS Europa. Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT (2009).
- OMM y OMS.** La información sobre el clima, un instrumento para proteger la salud humana. Informe realizado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en cooperación con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros asociados internacionales. 2009. Disponible en: http://www.wmo.int/wcc3/documents/WCC3_factsheet2_health_ES.pdf.
- O’Neill MS, Zanobetti A, Schwartz J.** Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. *Am J Epidemiol.* 2003; 157:1074-1082.
- Ostro B, Barrera-Gómez J, Ballester J, Basagaña X, Sunyer J.** The impact of future summer temperature on public health in Barcelona and Catalonia, Spain. *Int J Biometeorol.* 2012; 56:1135-44.
- Proyecto EuroHEAT:** Disponible en: <http://www.euroheat-project.org/dwd/index.php>.
- Rocklöv J, Forsberg B.** The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998-2003: a study of lag structures and heatwave effects. *Scand J Public Health.* 2008 Jul; 36(5):516-23.
- Roldán E, Gómez M, Pino R, Díaz J.** The impact of extremely high temperatures on the total daily mortality in Aragón, Spain. An economic estimate. *Environmental Research.* 2013. In Press.
- Sáez M, Sunyer J, Castellsagué J, Murillo C, Antó M.** Relationship between weather temperature and mortality: A time series analysis approach in Barcelona. *Int J Epidemiol.* 1995; 25: 576-582.
- Tobías A, García de Olalla P, Linares C, Bleda MJ, Caylá JA, Díaz J.** Short-term effects of extreme hot summer temperatures on total daily mortality in Barcelona, Spain. *Int J Epidemiol.* 2010;54:115-117.
- Tobías A, Zuza I, Armstrong B, Gasparri A, Linares C, Díaz J.** Mortality on extreme heat days using official thresholds in Spain: a multi-city time series analysis. *BMC Public Health.* 2012; 12:133.

Wilkinson P, Landon M, Armstrong B et al. Cold comfort: the social and environmental determinant of excess winter mortality in England, 1986-1996. London: The Policy Press. 2001.



5. II

Calidad del agua

Coordinador:

Palau Miguel, Margarita

Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Autores:

Aguayo Balsas, Sonia M.

Centro Nacional de Sanidad Ambiental. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Cabello Gómez, Ángels

Centro Tecnológico del Agua (CETaqua)

Cano Portero, Rosa

Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

García Gómez, M^a Concepción

Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua
Dirección General del Agua
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Grimalt Obrador, Joan

Centro de Investigación y Desarrollo “Josep Pascual Vila”
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ministerio de Economía y Competitividad

López Rodas, Victoria

Departamento de Genética
Universidad Complutense de Madrid

Martínez Juárez, Guadalupe

Sección de Salud Ambiental. Instituto de Ciencias de la Salud de Talavera de la Reina
Junta de Comunidades Castilla La Mancha

Matías Ribot, Leonard
Aguas de Barcelona

Roset Álvarez, Jaime
Consultor independiente
Calidad de Aguas, Cambio Climático y Sanidad Ambiental

Ruiz Sierra, Ana
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y Mar
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Villanueva Belmonte, Cristina
Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental
Generalitat de Catalunya

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

1. Introducción	75
2. Impactos previsibles del cambio climático	75
3. Impactos previsibles en salud.....	81
3.1. Efectos de la sequía	85
3.2. Efectos de las altas temperaturas del agua.....	87
3.3. Efectos de las crecidas e inundaciones	89
3.4. Efectos sobre el tratamiento del agua de consumo.....	91
3.4.1. Modificaciones en el proceso de tratamiento	94
3.5. Control adicional de la calidad sanitaria del agua.....	93
4. Zonas más vulnerables	95
4.1. Zonas más vulnerables a la sequía.....	97
4.2. Zonas más vulnerables a inundaciones y crecidas.....	97
5. Repercusiones en otros sectores	100
6. Implicaciones para las políticas	102
6.1. A Nivel Europeo	110
6.2. A Nivel Nacional.....	113
7. Principales opciones adaptativas	106
7.1. Planificación hidrológica	106
7.2. Salud	107
8. Principales necesidades de investigación	109
9. Bibliografía	111

1. Introducción

El agua es un elemento esencial para la vida y parte integrante de la práctica totalidad de las actividades humanas diarias.

El concepto más relevante es el de *agua de consumo* como agua salubre y limpia que no contenga ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo a corto, medio o largo plazo para la salud humana.

El calentamiento global observado en las últimas décadas está asociado a variaciones en ciertos componentes del ciclo hidrológico. Estas variaciones, que se recogen en el estudio “El cambio climático y el agua” realizado por el grupo de trabajo II del IPCC incluyen cambios en las pautas, intensidades y valores extremos de precipitación; fusión generalizada de la nieve y del hielo; aumento del vapor de agua atmosférico y aumento de la evaporación y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía.

Las proyecciones estiman pérdidas generalizadas de masa de los glaciares y aceleración en las reducciones de la cubierta de nieve reduciendo así la disponibilidad de agua y el potencial hidroeléctrico, y alterando la estacionalidad de los flujos en regiones abastecidas de agua de nieve de las principales cordilleras, donde vive actualmente más de la sexta parte de la población mundial.

Se espera que el cambio climático intensifique el estrés actualmente padecido por los recursos hídricos debido al crecimiento de la población, al cambio económico y de los usos de la tierra y, en particular a la urbanización (IPCC 2007).

2. Impactos previsibles del cambio climático

Las alteraciones del ciclo hidrológico a nivel global y regional tenderán a acentuarse a lo largo de este siglo (IPCC 2007).

Cada vez se registran fenómenos meteorológicos más intensos incluyendo lluvias torrenciales e inundaciones, así como un descenso en los caudales fluviales y sequías más severas y frecuentes. Los modelos utilizados pese a mantener ciertas incertidumbres, proyectan una intensificación de estas tendencias para el futuro.

El Informe Especial sobre Gestión de Riesgos de Episodios Extremos y Desastres para Avanzar en la Adaptación al Cambio Climático (SREX, siglas en inglés) analiza la relación entre el cambio climático y los eventos climáticos extremos, así como las implicaciones de estos episodios para la sociedad y su desarrollo sostenible. El informe considera la interacción de factores climáticos, ambientales y humanos que pueden comportar impactos y desastres, las opciones para gestionar estos riesgos generados y el importante papel que juegan los factores no climáticos en la determinación de estos impactos.

Un nuevo escenario pondrá a prueba las infraestructuras de los servicios públicos relacionados con el agua llevándolas hasta el límite, pudiendo causar fallos en las plantas de tratamiento de aguas, amenazando con provocar posibles contaminaciones del agua de consumo e incluso la interrupción de los suministros. Los recursos hídricos, que hoy en día damos por garantizados, se podrán ver comprometidos en un futuro si no se toman las medidas adecuadas (EEA 2011).

Algunos sistemas hidrológicos ya han resultado afectados, tanto en un aumento de la escorrentía y anticipación de los caudales máximos primaverales en numerosos ríos alimentados por glaciares y por nieve, como

en un aumento de temperatura que afecta la estructura térmica y la calidad del agua de ríos, embalses, lagos y aguas marinas.

El aumento de temperatura afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas de lagos, embalses y ríos de agua dulce, provocando efectos predominantemente adversos sobre numerosas especies y sobre la calidad del agua. Los cambios en la precipitación y en la temperatura inducen a su vez cambios de la escorrentía y de la disponibilidad de agua.

Según las proyecciones más probables, la escorrentía aumentaría entre un 10% y un 40% antes de 2050 en latitudes superiores del hemisferio Norte y en ciertas áreas tropicales pluviales, mientras que en algunas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, se prevé una disminución de la escorrentía entre un 10% y un 30% por la disminución de las lluvias y por unas tasas de evapotranspiración más altas.

Las áreas afectadas por sequías aumentarían en extensión, y ello repercutiría negativamente en múltiples sectores: agricultura, suministro hídrico, producción de energía y salud. A nivel regional, la demanda de agua de riego aumentaría sustancialmente por efecto del cambio climático (IPCC 2007).

En ciertas áreas, los impactos beneficiosos de una mayor escorrentía anual estarían probablemente atenuados por los efectos negativos de una mayor variabilidad de las precipitaciones y de la alteración estacional de la escorrentía sobre el abastecimiento y calidad del agua.

Estudios posteriores al cuarto informe del IPCC confirman que la frecuencia de precipitaciones intensas se incrementará en la mayor parte de regiones del mundo. Esta tendencia al incremento del número de días con precipitación intensa se confirma en muchas regiones, incluyendo aquéllas en las que las proyecciones de precipitación total indican que decrecerán. De igual forma hay que destacar que estos estudios revelan grandes incertidumbres y desviaciones de los modelos en determinadas regiones. En la mayoría de regiones, la precipitación máxima a 24 horas para un periodo de retorno de 20 años, se prevé que pase a ser de entre 5 a 15 años de período de retorno para finales del siglo XXI. Las mayores reducciones de periodo de retorno se producirían en latitudes altas y algunas regiones tropicales.

Las investigaciones disponibles indican por tanto, que aumentarán apreciablemente las precipitaciones de lluvia intensas en numero-

Impactos previsibles

- Algunos de los sistemas hidrológicos ya han resultado afectados y las alteraciones del ciclo hidrológico a nivel global tienden a acentuarse a lo largo del presente siglo.
- Los cambios de las precipitaciones y la temperatura inducen cambios en la escorrentía y la calidad del agua.
- Las previsiones indican un incremento en las precipitaciones de lluvia intensa compatible con un descenso en los valores medios de precipitación que supone mayor riesgo de crecidas.
- Las proyecciones indican un aumento en la escorrentía entre 10 y 40% en latitudes superiores del hemisferio Norte.
- Las costas estarán expuestas a mayores riesgos vinculados al aumento del nivel del mar, a la mayor salinización del agua subterránea y a la presión humana.

sas regiones, compatible con una disminución de los valores medios de precipitación. Esto supondrá un mayor riesgo de crecidas, que puede afectar en torno al 20% de la población mundial que vive en estas áreas en las que se prevé aumento en las crecidas de aquí al decenio de 2080.

Las costas mundiales estarán expuestas a mayores riesgos y en particular a la erosión por efecto del aumento de nivel del mar, que agravaría las limitaciones de los recursos hídricos, como consecuencia de una mayor salinización de los suministros de agua subterránea por efecto de la intrusión marina. Este efecto se vería exacerbado por la creciente presión ejercida por la presencia humana sobre las áreas costeras. Desde ahora hasta el decenio de 2080 muchos millones de personas más que en la actualidad padecerán inundaciones por aumento de nivel del mar. La población afectada sería máxima en los grandes deltas de baja altura y alta densidad de población de Asia y África, y las islas pequeñas serían especialmente vulnerables (IPCC 2007). El cambio climático amplificará las diferencias regionales entre los recursos y bienes naturales europeos.

En términos generales y para todos los escenarios, la precipitación anual media aumentará en el norte de Europa y disminuirá hacia el sur. El aumento sustancial constatado de la intensidad de los episodios de precipitación diaria afectaría incluso a las áreas en que disminuye la precipitación media, como Europa central o el Mediterráneo (Christensen y Christensen 2003; Giorgi et al. 2004; Kjellström 2004; Kundzewicz et al. 2006; IPCC 2007).

La escorrentía anual aumentará en la Europa atlántica y septentrional y disminuirá en Europa central, mediterránea y oriental (Werritty 2001; Andréasson et al. 2004).

Se prevé un incremento de la estacionalidad de los caudales europeos que se traduciría en mayores flujos en los meses de valores

máximos y flujos menos caudalosos en los meses de valores mínimos o períodos de sequía prolongados (Arnell 2003, 2004). Inicialmente, el retroceso previsto de los glaciares aumentaría el caudal fluvial en los Alpes en los meses de verano, para progresivamente disminuir con la retracción de los glaciares hasta en un 50% (Hock et al. 2005; Zierl y Bugmann 2005). Los caudales estivales mínimos disminuirían en un 50% en la Europa central y hasta en un 80% en algunos ríos de la Europa meridional (Eckhardt y Ulbrich 2003; Santos et al. 2002).

En las regiones europeas interiores, habrá un mayor riesgo de crecidas bruscas. En las zonas de litoral aumentará sustancialmente el riesgo de inundaciones, de erosión y de pérdida de humedales. El sur de Europa parece ser más vulnerable a estos cambios. En el informe ACACIA se señala que el principal riesgo en los países del sur de Europa se deriva de las crecidas relámpago por lluvias torrenciales (Parry 2000).

En las áreas montañosas, la retracción de los glaciares, la disminución de la cubierta de nieve y las temperaturas más altas darán lugar a que la frontera entre las zonas bióticas y criosféricas ascienda en altura y perturbe el ciclo hidrológico, hasta un 60% de aquí a 2080 en los escenarios que contemplan un alto nivel de emisiones.

Tanto la proporción de superficie terrestre que experimentará sequías extremas, como la frecuencia de episodios de sequía extrema y su duración media aumentarían de aquí al decenio de 2090, en un factor de 10 a 30 y de 2 y de 6, respectivamente. Al disminuir la precipitación estival en las regiones del sur y del centro europeas, junto con el aumento de la temperatura (que aumenta la demanda evaporativa), inevitablemente daría lugar a una menor humedad del suelo en verano y una mayor frecuencia e intensidad de las sequías (Douville et al. 2002; Christensen et al. 2007). De aquí hasta 2070 los períodos de retorno disminuirán, de modo que las sequías

actualmente vinculadas a un período de retorno de 100 años tendrían, en promedio, períodos de retorno inferiores a 10 años en ciertas partes de la península ibérica, región occidental de Francia, cuenca del Vístula en Polonia y Turquía occidental (IPCC 2008).

En el sur de Europa, región ya vulnerable *per se* a la variabilidad de clima, el cambio climático agravaría las condiciones existentes, y podría reducir la disponibilidad de agua, el potencial hidroeléctrico, el turismo estival y la productividad de los cultivos en general (IPCC 2007).

En España, los escenarios climáticos previstos por la Comisión Nacional del Clima en el Libro Blanco del Agua, plantean una ligera disminución de las precipitaciones medias anuales y un aumento de las temperaturas, que daría lugar a una disminución de la escorrentía total. Las previsiones de los modelos climáticos apuntan a una intensificación de los periodos secos en verano, y precipitación total en invierno similar a la actual, aunque concentrada en un menor número de meses.

Los territorios del sureste peninsular, la cuenca del Guadiana, el valle del Ebro y los archipiélagos serían las áreas donde los impactos sobre los recursos se manifestarían más severamente, precisamente aquéllas donde ya se presentan los mayores problemas hídricos. Un aumento de 1°C en la temperatura y una disminución del 5% en la precipitación supondrían un descenso en las aportaciones del orden del 20%, porcentaje que se incrementaría notablemente en un escenario más extremo con un descenso de 15% en la precipitación y un aumento de 4°C en la temperatura (MIMAM 1998).

En las cuencas atlánticas, el origen de las crecidas, su duración y magnitud están muy ligadas a la precipitación invernal. Desde 1910 los ríos atlánticos han experimentado una disminución de la frecuencia de las crecidas extraordinarias y catastróficas, aunque su magnitud se ha mantenido e incluso aumenta-

do pese al efecto laminador de los embalses. Es previsible que esta tendencia al aumento de la variabilidad hidrológica se mantenga en las próximas décadas.

En el caso de los ríos Duero y Ebro, los caudales punta pueden verse afectados por fenómenos de deshielo súbito, consecuencia de las variaciones de temperatura de invierno y primavera.

En las cuencas mediterráneas las series de crecidas del pasado indican que las avenidas extremas se han producido durante periodos de elevada irregularidad de la precipitación tanto estacional como anual. En tiempos recientes (décadas de los 70 y 80) han aumentado los episodios de lluvias intensas; algunas causantes de crecidas extraordinarias con caudales máximos superiores a los registrados en las estaciones de aforo en la primera mitad del siglo XX (previa a la construcción de embalses). En este sentido, los datos existentes apuntan a que el incremento de la temperatura puede aumentar la irregularidad del régimen de crecidas y sequías, y promover la generación de crecidas relámpago en las cuencas mediterráneas y del interior de la península ibérica, aunque con nivel alto de incertidumbre (G.Benito et al. 2005). Las tres áreas principales de riesgo de inundación en España son: el litoral mediterráneo, País Vasco y Canarias (Olcina 2008, CEDEX 2011).

El *Informe de evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*, ha tenido como punto de partida los escenarios climáticos regionalizados elaborados por la AEMET. De éstos, se seleccionaron los escenarios de emisión A2 y B2 establecidos en el año 2000 por el IPCC por considerarse que abarcan un amplio margen de variación y son suficientemente representativos del conjunto de escenarios. Los resultados en términos de precipitación muestran unas proyecciones que pronostican una reducción generalizada en España conforme avanza el siglo, entre un 15% y un 25% inferiores a las observadas, y con diferen-

cias regionales entre zonas de costa e interior y entre zonas con mayor o menor influencia mediterránea o atlántica. Estacionalmente, todas las proyecciones para las precipitaciones dan un ciclo anual más suavizado que no alcanzan los valores medios observados en otoño y superan los observados en verano. Aun considerando las diferencias con los datos observados y debidas a errores de simulación, a proyecciones regionales e incertidumbres inherentes a la simulación, en este informe se concluye que las diferencias son más importantes para las precipitaciones que para las temperaturas.

El pronóstico es un descenso generalizado de la precipitación a lo largo del siglo XXI en dos de los principales y más utilizados escenarios de emisiones. La temperatura proyectada para el siglo XXI tiene una tendencia ascendente y más importante en las zonas interiores que en aquellas zonas más próximas a la costa. La evapotranspiración real presenta una

proyección descendente especialmente entre 2071-2100, y se ha observado que los picos de primavera se adelantan en el tiempo y se reducen. También se estima que, exista un descenso en la recarga a lo largo del siglo XXI, más importantes en Canarias y zona silíceo peninsular. Además, este informe recoge la previsión de una disminución de la escorrentía acorde a las tendencias de temperatura y precipitación y a las variaciones según las regiones geográficas; esta disminución es más intensa en el escenario A2 que en el B2 (figuras 4 y 5).

Se prevé una reducción generalizada de los recursos hídricos en todo el territorio, que parece que se acentuará conforme transcurre el siglo XXI.

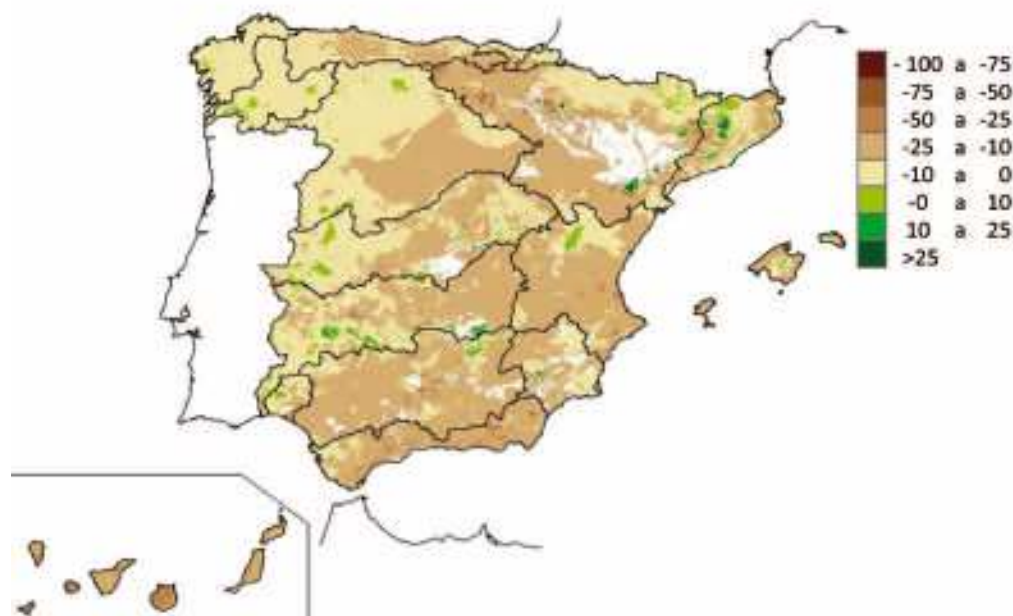
Por otra parte, el cambio climático también aumentará la probabilidad de floraciones de cianobacterias por aumento de las temperaturas del agua (Paerl and Huisman 2008).

Figura 4. Variación del promedio de escorrentía (%) para el periodo 2011-2040 respecto al periodo de control para las proyecciones A2



Fuente: CEDEX. Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural

Figura 5. Variación del promedio de escorrentía (%) para el periodo 2011-2040 respecto al periodo de control para las proyecciones B2



Fuente: : CEDEX. Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural

Tabla 6. Relación de microorganismos seleccionados según tasa de eliminación y reducción en nº de días

Microorganismo	Tasa desaparición en aguas superficiales (por día)	Tiempo 50% Reducción (días)
Patógenos		
<i>Cryptosporidium</i>	0,0057-0,046	15-150
<i>Giardia</i>	0,023-0,23	3-30
Enterovirus	0,01-0,2	3-70
Hepatitis A	0,05-0,2	3-14
Rotavirus	0,24-0,48	1,2-2,4
<i>Salmonella</i>	1-7	0,1-2,4
<i>Shigella</i>	0,7	0,1-0,67
<i>Vibrio cholerae</i>	*	*
Indicadores		
Coliformes	0,77	0,9
<i>E.coli</i>	0,23-0,46	1,5-3
Enterococos	0,17-0,77	0,9-4
<i>C.perfringens</i>	0,0023-0,011	60->300
Colifagos somáticos	0,6-6	2-20
Fagos F-RNA	0,01-0,08	29-230

**Vibrio cholerae* es ambientalmente competente y puede sobrevivir durante largos periodos VBNC

Fuente: Información recopilada de diversos autores por F. Ribas (2006)

Los microorganismos patógenos tendrán un enorme significado en el ámbito del cambio climático, en especial teniendo en cuenta su tasa de eliminación (*tabla 6*).

3. Impactos previsibles en salud

La exposición de la población al cambio climático se produce de modo directo por los cambios en los patrones del clima como temperatura, precipitación, incremento de nivel de mar y eventos extremos; y de modo indirecto por los cambios en el agua, al aire, la alimentación, los ecosistemas, la industria, la urbanización y la economía.

Se prevé que la intensificación de las alteraciones sobre el ciclo hidrológico provocará un fuerte impacto en la calidad del agua y, por tanto, en la salud de quienes la consuman, de aquellos que no tengan acceso o de quienes, teniendo acceso, no cuenten con sistemas de tratamiento adecuados para garantizar la calidad suficiente del agua de consumo.

Al evaluar la relación entre los cambios en las precipitaciones, disponibilidad y calidad del agua y los resultados en términos de salud cabe considerar (IPCC 2008):

- El vínculo entre la disponibilidad y acceso a agua de consumo por la población y la carga de enfermedades diarreicas.
- El papel de los extremos en las precipitaciones (muy intensas o sequías) en la génesis de brotes de enfermedades de transmisión hídrica a través de los sistemas de suministro o del agua superficial.
- Los efectos de la temperatura y las escorrentías en la contaminación microbiológica de las aguas costeras, superficiales y recreativas.
- Los efectos directos de la temperatura en la incidencia de enfermedades diarreicas.

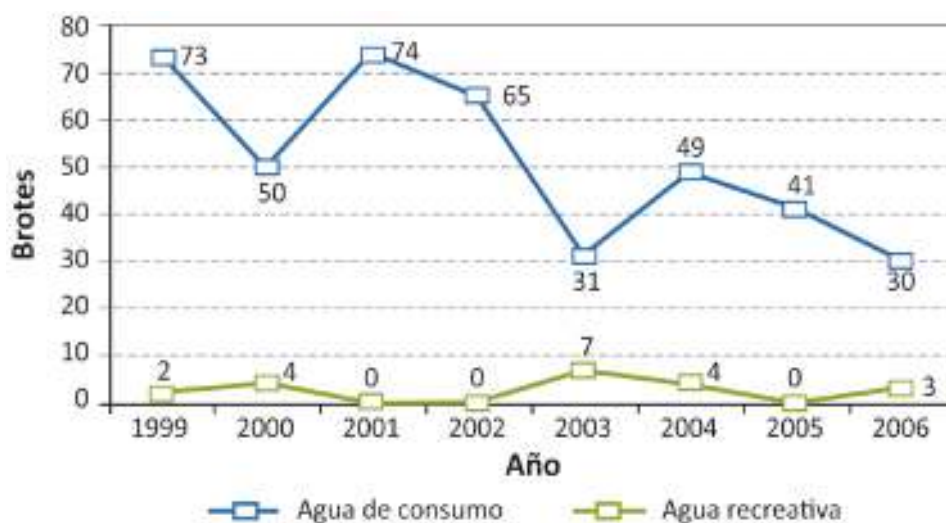
Un ejemplo de los vínculos mencionados lo encontramos en el trabajo realizado en España entre 1999 y 2006 que recoge la declaración de 433 brotes de transmisión hídrica, de los que 413 estuvieron relacionados con agua de consumo y 20 con aguas recreativas (Martín et al. 2008), observándose una tendencia descendente en el número de brotes en ese periodo (*figura 6*).

En un 95,7% (n=112) de los brotes confirmados relacionados con agua de consumo el

Impactos previsibles en España

- El escenario previsto plantea una ligera disminución de las precipitaciones anuales medias, un aumento de las temperaturas y una disminución de la escorrentía total.
- En las cuencas atlánticas es previsible que el incremento observado en la variabilidad hidrológica se mantenga en próximas décadas.
- Los caudales punta de los ríos Ebro y Duero pueden experimentar episodios de deshielo súbitos.
- En las cuencas mediterráneas e interior peninsular puede aumentar la irregularidad del régimen de crecidas y sequías.
- Las proyecciones indican un descenso en la evapotranspiración real especialmente entre 2071-2100 y descenso en la recarga, más importante en el archipiélago canario y zona silíceo peninsular.
- Se prevé un aumento de la probabilidad de floración de cianobacterias por aumento de la temperatura del agua.

Figura 6. Brotes de transmisión hídrica. España 1999 - 2006



Fuente: Sistema de brotes. Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica.

Elaboración: Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III

agente implicado era infeccioso y en el resto (n=5) fue tóxico. Los vehículos de transmisión identificados más importantes fueron la red de abastecimiento común y las fuentes. Los factores contribuyentes principales fueron el uso de agua no tratada y el consumo de agua con tratamiento inadecuado.

La bacteria más frecuente fue *Shigella Sonnei* identificada en un 24,1% de los brotes causados por bacterias, seguida de *Campylobacter*, en particular *C. jejuni*. *Salmonella spp.* fue el agente que más ingresos hospitalarios produjo en estos brotes. En cuanto a los agentes víricos, el Norovirus, el virus de la Hepatitis A y el Rotavirus fueron los más frecuentes, identificándose en un 54,2%, 29,2% y 12,5% respectivamente del total de brotes víricos.

En cuanto a los 19 brotes relacionados con aguas recreativas en los que se confirmó el agente causal, 17 se produjeron en piscinas y 2 en el mar. Entre los primeros, *Cryptosporidium* y *Pseudomonas aeruginosa* fueron los agentes más frecuentemente implicados, y entre los producidos en aguas no tratadas, es posible que el incremento de microalgas tóxicas coincidiendo con un aumento de temperatura estuviera asociado con la aparición de dichos brotes.

Desde el año 2008 en España, en función de los boletines de análisis notificados en el Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC), la calidad sanitaria del agua de consumo humano ha sido apta para el consumo en más de un 99% de los boletines notificados (tabla 7).

Tabla 7. Distribución porcentual de boletines según calificación sanitaria. 2008-2011

Calificación Sanitaria	2008	2009	2010	2011
Agua apta para el consumo	99,1	99,6	99,5	99,3
Agua no apta para el consumo	0,9	0,4	0,5	0,7

Fuente: Calidad del agua de consumo humano. Informe técnico, año 2011. MSSSI 2012

El 98,9% de los boletines oficiales (análisis completo, de control y control en grifo) han sido aptos para el consumo. En la *tabla 8* se presenta el porcentaje de boletines con agua apta para el consumo de los últimos años en función del tipo de análisis.

Tabla 8. Distribución porcentual de boletines aptos según tipo de análisis. 2008-2011

Tipo de Análisis	2008	2009	2010	2011
Análisis completo	96,0	96,0	96,3	95,9
Análisis de control	99,0	99,2	99,1	99,2
Control en grifo	98,4	98,6	98,7	98,6
Vigilancia sanitaria	94,9	95,8	93,5	94,9

Fuente: Calidad del agua de consumo humano. Informe técnico, año 2011. MSSSI 2012

En cuanto a las zonas de abastecimiento (ZA), un 86% ha tenido siempre una calidad del agua apta para el consumo, que corresponde al 59% de la población censada para el año 2011.

El 12% de las ZA han tenido calidad no apta para el consumo en más del 5% de sus boletines oficiales, lo cual corresponde a un 3% de la población censada.

Los datos de calidad sanitaria del agua de consumo en zona rural son algo peores que en zona urbana. Así, en zona rural el 13 % de las zonas de abastecimiento han tenido más del 5% de boletines de análisis no aptos, mientras que en zona urbana tan solo se ha dado esta situación en el 6% de las zonas.

Las tres causas más frecuentes de la no aptitud del agua de consumo en estos últimos años han sido:

- por la naturaleza del terreno (presencia de sulfato, cloruro, sodio, actividad alfa total, fluoruro, arsénico, hierro)
- por incidencias en el tratamiento (presencia de valores superiores a los permiti-

dos en cloro libre residual, recuento de colonias a 22°C y otros microbiológicos, aluminio, pH y trihalometanos);y

- por incidencias en la práctica agrícola (presencia de nitratos y herbicidas).

Uno de los principales efectos sobre la salud se relacionará con el aumento de la contaminación del agua causada por las frecuentes crecidas urbanas, que supondrá un aumento en la tasa de enfermedades diarreicas, que actualmente matan a 2,2 millones de personas cada año (WHO-UNICEF. 2000).

Además, en un escenario de aumento de la frecuencia e intensidad de las inundaciones, se puede producir la contaminación de las fuentes de agua dulce, incrementando el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y dando lugar a criaderos de insectos, portadores de otras enfermedades. Tanto crecidas como inundaciones causan ahogamientos y daños físicos, y psíquicos y pueden dejar fuera de servicio plantas de potabilización, creando un problema en ciudades medianas y grandes o contaminar pozos por rebosamiento, generando problemas de abastecimiento en zonas rurales.

Las sequías producirán un aumento en la transmisión de las enfermedades infecciosas, así como un recrudecimiento de los problemas de desnutrición/malnutrición derivados de éstas (Whitehead et al. 2009). Se observarán mayores concentraciones de contaminantes por efecto del agotamiento de caudales fluviales debido a la reducción de su capacidad de dilución. Los impactos en la salud de la población, consecuencia de este aumento pueden atenuarse en función de la capacidad de las infraestructuras de potabilización del agua de consumo y depuración de aguas residuales.

Todos estos problemas pueden verse exacerbados por otros factores como el crecimiento demográfico.

Las enfermedades relacionadas con el agua pueden clasificarse según la vía de transmi-

sión, diferenciándose entre las transmitidas por ingestión y las relacionadas con el contacto con agua. La influencia del clima en determinados patógenos de transmisión hídrica se presenta en la *tabla 9*.

Tabla 9. Resumen de patógenos y su relevancia en salud

	Patógeno	Enfermedad	Influencia del clima	Relevancia en salud según Organización Mundial de la Salud (OMS)
VIRUS	Norovirus	Gastroenteritis	<ul style="list-style-type: none"> - Las tormentas (huracanes) pueden aumentar el transporte desde fuentes de aguas residuales y fecales - Cambios en estacionalidad - Incremento de la supervivencia con temperaturas bajas y luz solar 	Alta
	Sapovirus	Gastroenteritis		
	VHA	Hepatitis		
	Rotavirus	Gastroenteritis		
	Enterovirus	Gastroenteritis		
	Adenovirus	Gripe respiratoria e intestinae		
BACTERIAS	<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido y excesivo crecimiento de zooplancton - Salinidad y temperatura asociadas con crecimiento en medio marino 	Alta
	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis		
	<i>Helicobacter pylori</i>	Úlcera gástrica y duodenal		
	<i>Legionella pneumophila</i>	Neumonía		Media-Baja
	<i>Vibrio cholera</i>	Cólera		
	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>V. vulnificus</i>	Infecciones de heridas, otitis, septicemia, gastroenteritis, disfunción respiratoria, reacciones alérgicas		
Cianobacterias tóxicas	Dermato-toxicidad	Media		
PROTOZOOS	<i>Cryptosporidium spp</i>	Gastroenteritis	<ul style="list-style-type: none"> - Las tormentas (huracanes) pueden aumentar el transporte desde fuentes de aguas residuales y fecales - La temperatura se asocia con la maduración e infectividad de Cyclospora 	Alta
	<i>Giardia spp.</i>	Gastroenteritis		Baja
	<i>Acanthamoeba spp</i>	Queratitis, ceguera		Baja
	<i>Naegleria fowleri</i>	Meningoencefalitis		Baja

Fuente: Traducido y adaptado de Pond et al. Publicado en "Guidance on water supply and sanitation in extreme weather events. WHO 2011"

En Europa es probable que el cambio climático afecte a la calidad y cantidad de agua y, por consiguiente, al riesgo de contaminación de los suministros de agua (Miettinen et al. 2001; Hunter 2003; Kovats y Tirado 2006). Los extremos en las precipitaciones por defecto y por exceso podrían intensificar la carga microbiana del agua, suponiendo una mayor carga de enfermedades de transmisión hídrica (Howe et al. 2002; Kistemann et al. 2002; Opopol et al. 2003; Knight et al. 2004; Schijven y de Roda 2005).

3.1. Efecto de la sequía

Entre los efectos de la sequía sobre la salud se incluyen una mayor mortalidad, malnutrición, mayor predisposición a enfermedades infecciosas y respiratorias (Iniesta et al. 2008), desnutrición proteico-energética y déficits en micronutrientes (Menne y Bertollini 2000).

En determinadas regiones del mundo, el uso preferente del agua para la alimentación en detrimento de la higiene, aumenta el riesgo de patologías por contaminación fecal-oral. Además, en estos contextos, la escasez de agua puede producir desplazamiento poblacional de áreas rurales a urbanas, que a su vez, puede generar hacinamiento, estados carenciales nutricionales, carencia de agua potable y mayor riesgo de morbimortalidad (Choudhury y Bhuiya 1993; Menne y Bertollini 2000; Del Ninno y Lundberg 2005).

Aunque es objeto de un informe propio, cabe apuntar brevemente el impacto de la sequía en la incidencia de ciertas enfermedades de transmisión vectorial. La reducción en los caudales fluviales aumenta el volumen de aguas estancadas que, combinado con un aumento de las temperaturas, puede crear las condiciones adecuadas para la reproducción de ciertos vectores como los mosquitos (EEA 2011). Durante la sequía la actividad

de los mosquitos se reduce, aumentando la población susceptible, de manera que al finalizar el periodo de sequía hay una proporción mucho mayor de huéspedes susceptibles, y en consecuencia un aumento potencial de la transmisibilidad (Bouma y Dye 1997; Woodruff et al. 2002). En ciertas áreas la sequía puede favorecer el aumento de las poblaciones de mosquitos por la carencia de depredadores (Chase y Knight 2003). Éstas y otras condiciones pueden favorecer la expansión de ciertos vectores y, en algunos, casos su adaptación a espacios naturales nuevos.

La sequía también se asocia con el riesgo de enfermedades de transmisión hídrica. La relación entre la precipitación, el caudal fluvial y la contaminación del suministro de agua es compleja. Si los flujos fluviales disminuyen como consecuencia de una menor precipitación, su capacidad de dilución de efluentes disminuirá también y aumentará la carga patógena y química del caudal. Durante la sequía del verano de 2003, la disminución del caudal fluvial en los Países Bajos provocó cambios en la calidad del agua (Senhorst y Zwolsman 2005).

Los episodios de sequía se asocian a menudo con tormentas de polvo con efectos en la salud a través de las vías respiratorias. En presencia de polvo el aire puede transportar, además de una mayor concentración de partículas respirables, esporas de hongos y bacterias que podrían afectar a la salud (IPCC 2007).

La sequía también se asocia con cambios en el uso y cubierta del suelo y con incendios forestales que pueden originar cambios en el hábitat de especies animales que son reservorios de agentes patógenos; por ejemplo, algunas especies de murciélagos reservorios naturales del virus Nipah, o caracoles hospedadores intermedios de la esquistosomiasis.

3.2. Efecto de las altas temperaturas del agua

Este efecto conviene considerarlo en relación con las aguas dulces continentales y con las aguas marinas.

Aunque aún no está claro cómo el fitoplankton responderá globalmente al aumento de la temperatura, una potencial consecuencia podría ser la disminución en los tiempos de generación de las especies, que favorece la selección de las formas mejor adaptadas a las nuevas condiciones ambientales (De Senerpont Domis et al. 2007). En este sentido, existen evidencias que permiten concluir que las cianobacterias podrían ser beneficiadas por el aumento de la temperatura (Reynolds 2006; De Senerpont Domis et al. 2007; Paerl y Huisman 2008) y particularmente en embalses y lagos, pudiendo ocurrir también en aguas marinas.

Otra evidencia indica que el aumento en la estabilidad de la columna de agua por el incremento de la temperatura, resultaría un factor de fomento de la predominancia de cianobacterias y de la formación de floraciones algales tóxicas, con impactos en la salud (Huisman et al. 2004). La floración de algas nocivas (FAN) en aguas superficiales, principalmente embalses y lagos, podría aumentar si aumenta la temperatura (IPCC 2008). Las cianobacterias pueden constituir un riesgo para la salud pública por su capacidad tóxica,

al sintetizar toxinas que producen hepatotoxicidad, neurotoxicidad y dermatotoxicidad para el ser humano (Sant'Anna et al. 2005) (*tabla 10*) y por las diferentes vías de exposición y transmisión posibles (*tabla 11*).

Tabla 10. Clasificación de principales toxinas

Hepatoxinas	Microcistinas	MC-LR, MC-RR, MC-YR
	Nodularinas	
	Cilindrospermopsinas	
Neurotoxinas	Anatoxina	Anatoxina-a Anatoxina-a(S)
	Saxitoxina	
LPS	Lipopolisacáridos	

Fuente: Elaboración propia en base al informe Calidad del agua de consumo humano. Informe técnico, año 2011. MSSSI 2012

Entre los efectos agudos destacan las irritaciones de la piel, de ojos y de oídos, los episodios alérgicos, mareos y cefaleas, hepatoenteritis, gastroenteritis, daño renal y deshidratación. Entre los efectos crónicos se incluyen el hepatocarcinoma, cáncer primario de hígado y mutaciones metafase cromosómicas.

En España desde 2003 (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), las microcistinas se incluyen entre los parámetros químicos a evaluar en los análisis de calidad de agua de consumo, siendo el primer país que siguió la recomendación de control y la incluyó en su reglamentación. Según el último informe técnico de Calidad del agua de consumo en

Tabla 11. Vías de Transmisión y Exposición a cianobacterias

Vía	Exposición
Ingesta de agua	Exposición a cianobacterias en agua sin potabilizar o a microcistinas en agua insuficientemente tratada.
Ingesta de alimentos	Exposición a cianobacterias o microcistinas libres en pescados, moluscos, legumbres y hortalizas en contacto con agua contaminada.
Contacto	Exposición por contacto directo con cianobacterias o cianotoxinas en actividades recreativas, baño y ducha.
Inhalación	Exposición en deportes acuáticos, baño y ducha.
Hemodiálisis	Exposición a microcistinas durante el tratamiento con hemodiálisis.

Fuente: Elaboración propia en base al libro Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO 1999

España, la media de los valores cuantificados se encuentra por debajo del valor de referencia, 1 µg/L en agua de consumo tratada, entre los años 2003 y 2011 (figura 7).

En nuestro país se identifican principalmente cianobacterias hepatotóxicas, aunque en los últimos años se empiezan a observar cianobacterias neurotóxicas más comunes en el norte europeo.

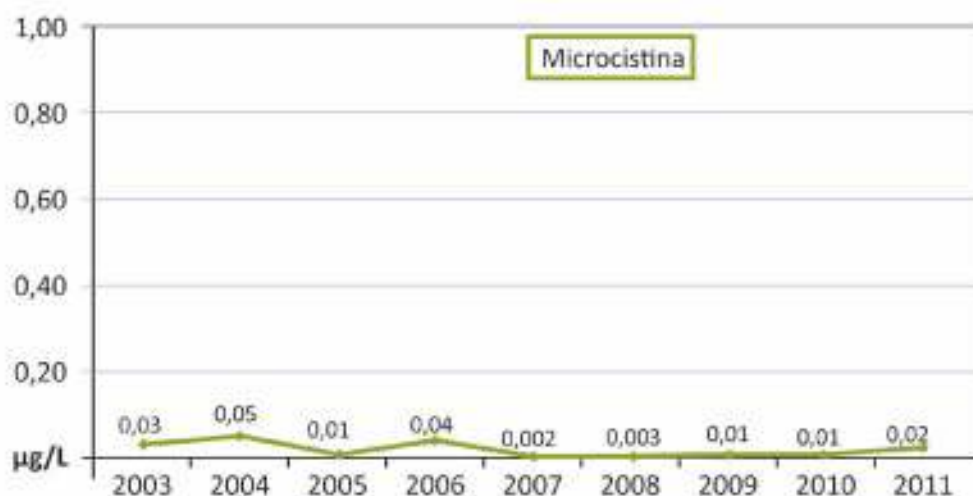
En aproximadamente la mitad de los embalses españoles, las cianobacterias potencialmente tóxicas son abundantes o dominantes y lo son más en los embalses de zonas silíceas que en los situados sobre rocas sedimentarias. Más de la mitad de las especies de cianobacterias encontradas son potencialmente tóxicas por los metabolitos secundarios que producen: cianotoxinas como microcistinas, anatoxinas o cilindrospermopsinas producen diferentes efectos adversos sobre la salud de los organismos que se ven expuestos a ellas (Quesada et al. 2004). En la tabla 12 se presentan los valores de referencia, según grados de riesgo, que se utilizan en España.

Los cambios en las condiciones térmicas de las aguas marinas, que conducen a aguas más

cálidas, pueden contribuir a la generación de desequilibrios ecológicos, al aumento de la presencia de medusas y cianobacterias y al incremento de los casos de toxinfeción alimentaria por marisco y peces de arrecife, así como a su expansión geográfica. Algunas enfermedades, como la vibriosis transmitida por el consumo de moluscos, puede verse afectada por el cambio climático en relación con el aumento de temperatura superficial del agua y los cambios de la salinidad. Brotes de *Vibrio parahemolíticus* se han relacionado con el incremento de la temperatura del agua (McLaughlin et al. 2005). En fechas recientes se han dado casos en las costas gallegas, zonas donde no se habían producido antes. (Martínez-Urtaza et al. 2008). Según una revisión sistemática de literatura realizada por el ECDC, los dos patógenos de transmisión hídrica citados como relacionados con la temperatura del agua han sido *Campylobacter* y *Vibrio* no-cólera.

En general, en un contexto geográfico con elevado nivel de desarrollo, la amenaza para la salud humana debido a la floración de cianobacterias es muy pequeña. El riesgo de que el suministro de agua de consumo se contamine con las toxinas que producen es

Figura 7. Evolución de la detección de microcistina (µg/L) en agua de consumo. España 2003-2011



Fuente: Calidad del agua de consumo humano. Informe técnico, año 2011. MSSSI 2012

bajo. El contacto directo con las algas suele estar contemplado en la reglamentación vigente y se emiten recomendaciones acordes a los resultados de los análisis de la calidad de las aguas de baño.

Para nuestro país, en las *figuras 8a* y *8b* muestran la evolución de la calificación sanitaria de las aguas de baño según la normativa anterior desde 1990 hasta 2012.

Tabla 12. Valor de referencia agua de baño

Sin riesgo	< 20.000 células/ml	
Riesgo bajo	20.000 células/ml o Clorofila a 10 µg/L	Efectos a corto plazo: - Irritaciones de piel - Problemas gastrointestinales
Riesgo moderado	100.000 células/ml o Clorofila a 50 µg/L	Efectos a corto plazo: - Irritaciones de piel - Problemas gastrointestinales
Riesgo alto	Presencia de natas	Efectos a largo plazo Intoxicación aguda Efectos a corto plazo Efectos a largo plazo

Fuente: Guidelines for safe recreational water environments. OMS 2003

Figura 8a. Calificación sanitaria de aguas de baño continentales (ríos, embalses, lagos) España 1990-2012

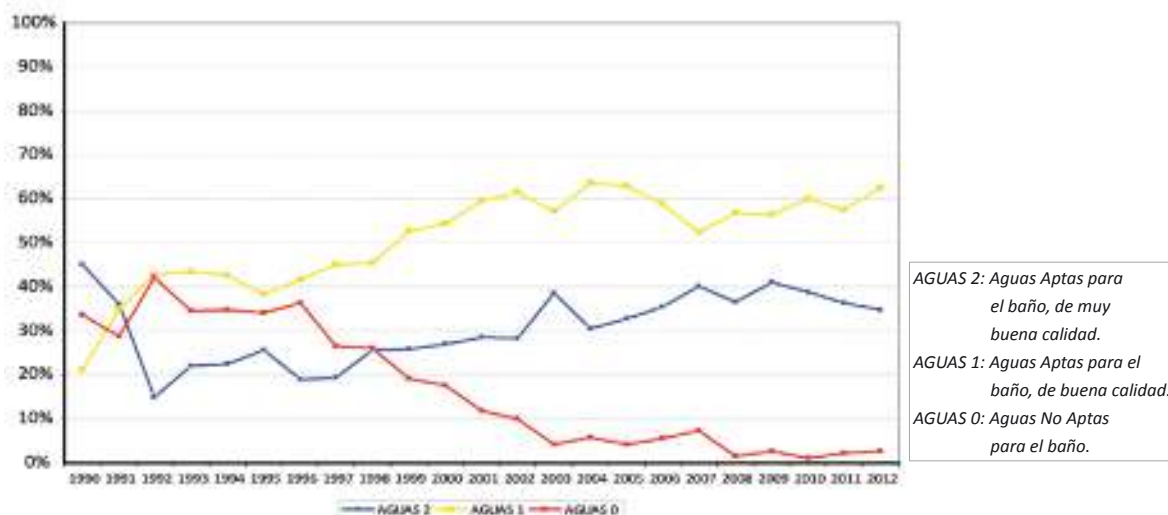
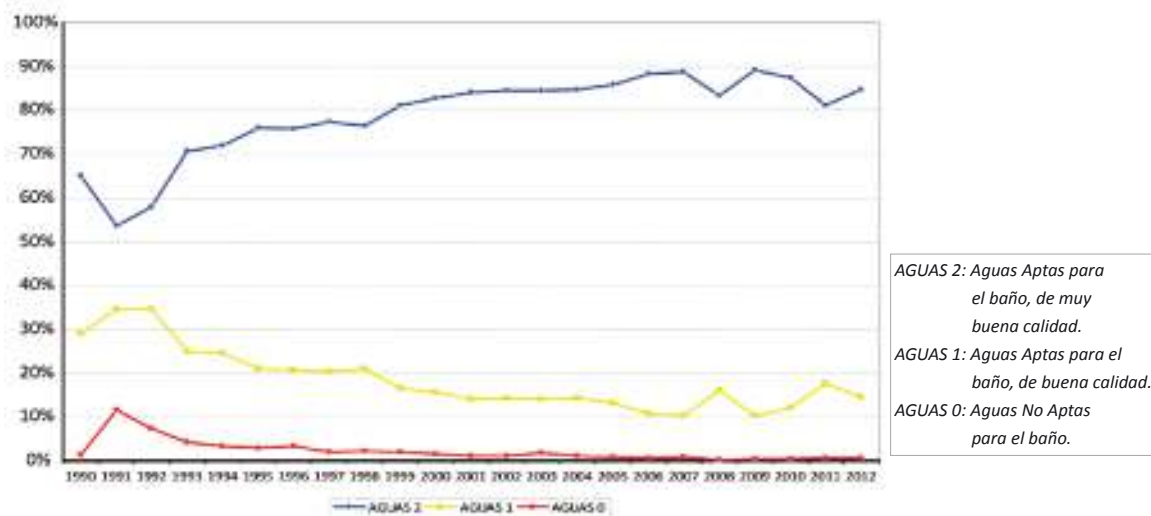


Figura 8b. Calificación sanitaria de aguas de baño marítimas. España 1990-2012



Fuente: Calidad de las aguas de baño en España. Informe técnico. Temporada 2012. MSSSI 2013

Con la clasificación de la nueva normativa aplicable en España y Europa solo se tienen datos de los dos últimos años (tabla 13).

Tabla 13. Evolución interanual España 2011-2012 (Directiva 2006/7/CE)

	Continental		Marítima	
	2012	2011	2012	2011
Excelente	54,0 %	54,2 %	88,9 %	86,6 %
Buena	25,4 %	23,8 %	5,7 %	7,0 %
Suficiente	8,0 %	7,9 %	2,9 %	3,7 %
Insuficiente	12,7 %	14,0 %	2,5 %	2,7 %

Fuente: Adaptado del informe Calidad de las aguas de baño en España. Informe técnico. Temporada 2012. MSSSI 2013

3.3. Efecto de las crecidas e inundaciones

Las inundaciones son fenómenos de baja probabilidad y gran impacto, que pueden sobrepasar infraestructuras físicas, resistencia humana y organizaciones sociales. En las zonas de interior los regímenes de inundación varían según el tamaño de la demarcación, la topografía y el clima. Además los modelos de gestión del agua, la urbanización, el uso intensivo de la tierra y la silvicultura pueden alterar significativamente el riesgo de inundaciones (IPCC 2007).

En las dos últimas décadas han ocurrido grandes tormentas y desastres por inundación. Las mejoras en las medidas estructurales y preventivas (especialmente en los sistemas de pronóstico meteorológico y la capacidad de alertar a la población) han reducido la mortalidad provocada por tormentas e inundaciones en los últimos 30 años (EEA 2005).

Las inundaciones tienen un impacto en salud que van desde defunciones, lesiones, enfermedades infecciosas o contaminación con productos tóxicos hasta problemas de salud mental (Greenough et al. 2001; Ahern et al. 2005).

Las muertes registradas durante este tipo de desastres son causadas por ahogamientos y

lesiones graves; sin embargo, se ha documentado infranotificación de los fallecimientos producidos por inseguridad e insalubridad tras el fenómeno extremo (Combs et al. 1998; Jonkman y Kelman 2005).

Los escasos estudios epidemiológicos realizados en Europa revelan que la mortalidad asociada a inundaciones está relacionada con ahogamientos, paradas cardiorrespiratorias, hipotermias, traumatismos y accidentes relacionados con vehículos. A medio plazo las inundaciones se asocian con la emergencia de enfermedades infecciosas (Tirado 2010). En términos generales, el riesgo de enfermedad infecciosa depende de factores como el impacto del desastre sobre los sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento, la disponibilidad de cobijo, el desplazamiento poblacional, el funcionamiento de la infraestructura de salud pública, el acceso a los servicios de salud y la naturaleza de la respuesta tras el desastre (Sur et al. 2000; Gabastou et al. 2002; Katsumata et al. 1998; Vollaard et al. 2004).

En un país con nivel elevado de desarrollo el riesgo de enfermedades infecciosas tras una inundación es bajo, aunque en ocasiones se ha registrado aumento en las enfermedades respiratorias y diarreicas (Miettinen et al. 2001; Reacher et al. 2004; Wade et al. 2004). Una excepción se produjo tras los huracanes Katrina y Rita en EE.UU. en 2005, donde el suministro de agua se contaminó con bacterias fecales originando enfermedad diarreica (CDC 2005; Manuel 2006). En Europa en general, las inundaciones raramente se asocian a un incremento del riesgo de brote por enfermedad de transmisión hídrica (EEA 2011). Según una revisión realizada por el ECDC (2012), los patógenos de transmisión hídrica que con mayor frecuencia se relacionan con las precipitaciones extremas son *Cryptosporidium*, seguido de *Campylobacter*.

Las inundaciones pueden provocar la contaminación de caudales y cursos de agua. Los sistemas de recolección de aguas residuales

están generalmente diseñados, como en el caso de las ciudades europeas, para recoger también la escorrentía de calles, tejados y otras superficies. Las tuberías y plantas de depuración son capaces de manejar adecuadamente las aguas residuales y residuos líquidos urbanos generados durante las tormentas de lluvia, pero sólo hasta un nivel determinado. Además, en ocasiones, estos sistemas de recolección incorporan estructuras de ayuda para evitar que las aguas recogidas y susceptibles de influir en los procesos de tratamiento posterior, (como, por ejemplo, las primeras lluvias tras periodos largos sin precipitación y susceptibles de contener contaminantes químicos) se viertan en los sistemas generales. Si el flujo que se genera en caso de precipitación extrema e inundación excede la capacidad del sistema, las estructuras de ayuda integradas permiten a este flujo eludir la planta de depuración y descargar en un curso de agua receptor, evitando así que las aguas residuales lleguen a calles y hogares. Los desbordamientos de los sistemas de alcantarillado, junto con los vertidos de aguas pluviales, por lo general descargan contaminantes y pueden provocar un rápido agotamiento de los niveles de oxígeno en las aguas receptoras (Even et al. 2007), a veces de forma fatal para la vida acuática. Además, la calidad de las aguas de baño en la proximidad de dichos residuos puede deteriorarse muy rápidamente.

Las inundaciones pueden generar contaminación con productos químicos, metales pesados y otras sustancias peligrosas procedentes de depósitos y almacenes, o productos químicos que se encuentran en el medio, como los pesticidas (IPCC 2008). La contaminación química tras el huracán Katrina incluyó vertidos de petróleo de refineries y tanques de almacenamiento, pesticidas, metales y residuos peligrosos (Manuel 2006). En el agua de inundación se detectaron productos químicos y trazas de algunos ácidos orgánicos, fenoles, cresoles, metales, productos de azufre y minerales asociados con el agua de mar (EPA 2005). La concentración de la mayoría de estos contaminantes se

situó dentro de los niveles tolerables a corto plazo, excepto el plomo y los compuestos orgánicos volátiles en algunas áreas (Pardue et al. 2005). Estos últimos son en su mayoría persistentes en el agua, por lo que el riesgo de contaminación del suelo puede persistir a largo plazo (Manuel 2006).

Hasta ahora se dispone de poca evidencia del efecto de la contaminación química en el patrón de morbimortalidad tras episodios de inundación (Euripidou y Murray 2004; Ahern et al. 2005). Sin embargo, tanto la densidad de población como el desarrollo industrial acelerado en áreas geográficas susceptibles, aumentan la exposición a materiales peligrosos liberados durante las inundaciones (Young et al. 2004), por lo que han de ser considerados en la planificación y uso del suelo, para minimizar la exposición y el riesgo para la salud de la población. La Directiva 2007/60/CE, relativa a la evacuación y manejo de riesgos de inundaciones, contempla la elaboración de planes de gestión de riesgos que consideren los usos del suelo, especialmente en aquellos casos en los que se prevean riesgos elevados en caso de precipitaciones a partir de ciertos periodos de retorno.

La contaminación de los suelos agrícolas y pastizales con policlorobifenilos (PCB) y dioxinas se ha visto asociada al cambio climático particularmente con el aumento de la frecuencia de las inundaciones. Esta contaminación del suelo se puede atribuir a la movilización de sedimentos contaminados de los ríos, que posteriormente se depositan en las zonas inundadas. En otros casos, la contaminación del agua de los ríos y, posteriormente, de los suelos inundados, es el resultado de la movilización en las zonas contaminadas en las cabeceras de los ríos debido a actividades industriales, plantas de tratamiento de aguas residuales, etc.

Tras las inundaciones en Europa central en 2002 por las crecidas de los ríos Elba y Mulde se evaluó la contaminación de las zonas inundadas e identificó la transferencia de

contaminantes químicos y metales a la cadena alimentaria. Los resultados mostraron niveles muy altos de dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/F) presentes en el suelo y en pastizales. También revelaban una significativa transferencia de estos compuestos en la leche de animales de pastoreo (Umlauf et al. 2005). La absorción de contaminantes por los suelos inundados es un factor importante a tener en cuenta en animales de pastoreo, mientras que la transferencia a la cadena alimentaria al destinar a alimentación animal cosechas procedentes de zonas inundadas, es menos significativo (Umlauf et al. 2005).

Otra de las repercusiones del cambio climático a tener en cuenta es el impacto sobre la bioacumulación del metilmercurio en los eslabones superiores de la cadena trófica. El nivel de mercurio en el medio ambiente ha aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial, siendo el hombre la causa de liberación del mercurio al

medio. Sin embargo, existe una movilización natural y una removilización de las liberaciones antropógenas depositadas en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos. Las inundaciones o la erosión del suelo, pueden contribuir a que el mercurio depositado se desprenda, incrementando las emisiones al agua y a la tierra y aumentando así su efecto contaminante (PNUMA 2002).

3.4. Efectos sobre el tratamiento del agua de consumo

Los cambios en la calidad del agua en origen causan efectos importantes en el tratamiento del agua. Uno de ellos es un empeoramiento en el proceso de coagulación y floculación, como se observó en la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) de MPATSA, en el río Llobregat. En este caso, lo primero que denotaba un cambio en el proceso era la

Efectos en salud

- La intensificación del cambio sobre el ciclo hidrológico impacta en la calidad del agua y por tanto en la salud de la población.
- Entre los efectos de la sequía se incluyen:
 - Mayor predisposición a enfermedades infecciosas y respiratorias
 - Expansión favorecida de ciertos vectores
 - Aumento de la carga patógena y química de los caudales fluviales
- Entre los efectos de temperaturas elevadas del agua destacan:
 - Selección favorecida de las formas y especies mejor adaptadas
 - Aumento de la presencia de cianobacterias con capacidad tóxica
 - En las aguas marinas se producen desequilibrios ecológicos, aumento de presencia de medusas y cianobacterias y potencial incremento en las toxiinfecciones alimentarias
- Entre los efectos de las crecidas e inundaciones, pese al reducido volumen de estudios epidemiológicos, se incluyen:
 - Contaminación biológica de caudales y cursos de agua que a medio plazo se asocian con emergencia de enfermedades infecciosas
 - Defunciones y lesiones
 - Contaminación química, de metales pesados (ej: mercurio) y otras sustancias peligrosas, tanto de caudales como de suelos agrícolas y ganaderos

formación de un flóculo mucho más pequeño, que incidió en un aumento de la turbidez en el agua filtrada por carbón activo, pasando de los valores habituales de 0,2 a 0,3 UNT (Unidades de Turbidez Nefelométricas) a valores entre 0,5 y 0,7 UNT, debido a que las partículas pequeñas no floculadas pasaban entre los intersticios granulares del carbón activo. Ello supuso tener que duplicar las dosis de coagulante y floculante sin conseguir resultados óptimos.

Otro efecto sobre el tratamiento del agua es la necesidad de utilizar mayores dosis de oxidantes y desinfectantes (cloro, dióxido de cloro, ozono, etc.). Esto, juntamente con la posible existencia de mayores niveles de precursores, puede incidir en un aumento del potencial de formación de trihalometanos (THM) en el agua tratada. La *figura 9* muestra cómo en el año 2005, comparativamente al 2004, se produce, a partir del mes de julio, un aumento de la concentración de THM en el agua tratada en la ETAP de Aguas de Barcelona en Sant Joan Despí, a pesar del aporte importante de aguas subterráneas al tratamiento.

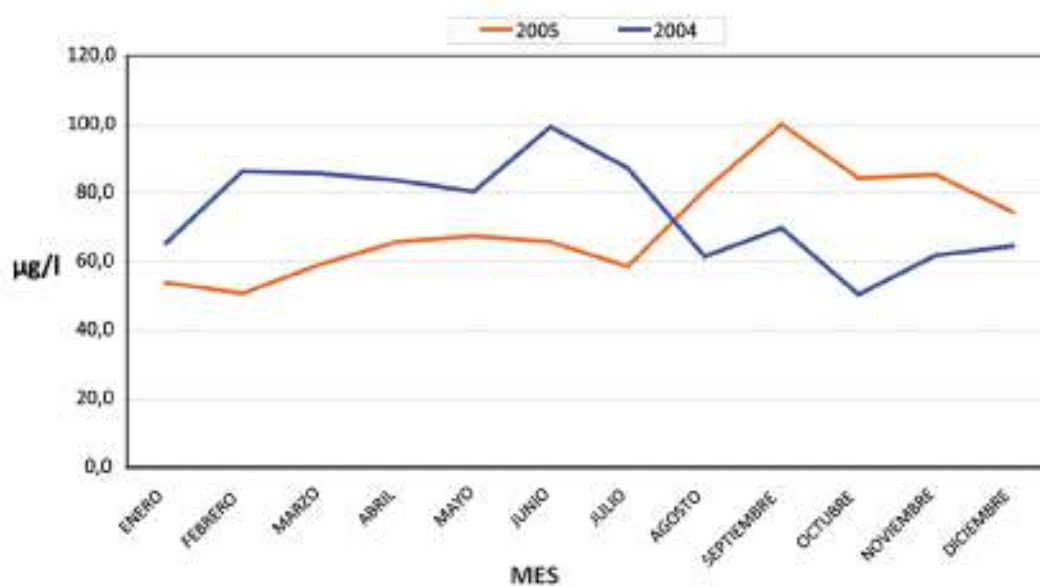
3.4.1. Modificaciones en el proceso de tratamiento

En situación de sequía los posibles problemas del tratamiento del agua pueden comportar tener que adoptar medidas correctoras o preventivas que impliquen modificaciones en los procesos de tratamiento. Estas medidas pueden ser a corto o a largo plazo, dependiendo de la facilidad de su implantación.

Como medidas correctoras a corto plazo pueden citarse:

- Cambio del tipo de coagulante y/o floculante
- Variación de los parámetros de explotación de la ETAP
- Cambios en la dosificación de reactivos (coagulantes, floculantes, oxidantes y desinfectantes)
- Implantación de pre-cloración en caso de no existir

Figura 9. Evolución de los valores medios de THM salida ETAP Sant Joan Despí. Años 2004-2005



Fuente: Aguas de Barcelona

A título de ejemplo, en la ETAP de MPATSA se cambió, en la sequía del año 2005, el floculante por otro de polaridad opuesta (polielectrolito catiónico), permitiendo obtener una mejoría en el proceso de coagulación-floculación y, consecuentemente, la obtención de aguas tratadas con los valores de turbidez habituales (0,2-0,3 UNT) y con una fuerte reducción de la materia orgánica, todo ello para un agua en origen con valores de clorofila elevados.

Las medidas preventivas a largo plazo, consisten normalmente en modificaciones importantes en los procesos de tratamiento del agua. Entre otras podemos citar:

- Dosificación de carbón activo en polvo
- Dosificación de permanganato de potasio
- Oxigenación del agua, en especial para aguas de embalses anóxicos
- Implantación de una etapa de pre-ozonización

- Tratamiento con membranas (microfiltración, nanofiltración, osmosis inversa, electrodiálisis, etc.)

Estas medidas pueden suponer inversiones importantes.

Es fundamental que el tratamiento del agua permita garantizar siempre unas condiciones idóneas para que la desinfección del agua que se aplique resulte eficaz.

3.5. Control adicional de la calidad del agua

En situación de sequía y sobre todo en caso de restricciones, deben realizarse controles suplementarios a los que se realizan de forma habitual y rutinaria. Estos controles se intensificarán en los puntos de entrega del agua a la red, ya que los cambios de dirección del flujo en las tuberías y la entrada de aire en las mismas pueden producir problemas de calidad (Castellví et al. 2006).

Figura 10. Planta de potabilización de Abrera. Aguas Ter Llobregat. Barcelona



Los efectos que en principio se pueden observar sobre la calidad del agua en la red de distribución son:

- **Color y turbidez.** Puede ser provocada por la presencia de hierro y/o manganeso en el agua, por arrastre de sólidos incrustados o depositados en las tuberías o por deficiente tratamiento del agua. En cualquier caso cabe tener en cuenta que la turbidez dificulta mucho la acción desinfectante del cloro, y puede ir acompañada de crecimientos microbianos no deseables.
- **Olor y sabor.** Debidos a compuestos naturales o antropogénicos que no habrán podido eliminarse durante el tratamiento (salinidad, geosmina, MIB (2-metilisoborneol), etc.), a productos desinfectantes o a subproductos de la desinfección generados por la mala calidad del agua cruda. Asimismo se pueden generar subproductos con sabor en la misma red de distribución, como los anisoles halogenados.
- **Trihalometanos (THM).** La necesidad de utilizar mayores dosis de cloro en el proceso de desinfección, así como la posibilidad de la existencia de más precursores (materia orgánica natural, bromuros, etc.) puede comportar una elevación de las concentraciones de THM en el agua de consumo. Cabe decir que, en estas situaciones, no debería nunca comprometerse una correcta desinfección del agua ante el posible incremento de THM en el agua. La calidad microbiológica siempre ha de tener preferencia (OMS 1995).
- **Contaminación microbiológica.** Su origen puede ser debido a maniobras incorrectas en la red de distribución (roturas, depresiones, infiltraciones de aguas residuales, etc.).

Los controles adicionales se aplican en los procesos de captación, tratamiento y distri-

bución del agua durante el período de sequía, intensificándose cuando se detecta alguna anomalía. Así, por ejemplo, cuando se detecta un deterioro de la calidad del agua en origen con aumento de cianobacterias en los embalses eutrofizados, se intensifica este control junto con el análisis de microcistinas para evaluar su posible presencia. También se suelen analizar con mayor frecuencia parámetros como amonio, cloruros y materia orgánica, por ser claves durante el proceso de tratamiento. Si se utilizan recursos alternativos como agua procedente de pozos que habitualmente están en desuso, se intensifica el control analítico de los mismos, incidiendo en los parámetros cuyo valor pueda llegar a superar los valores reglamentados.

En el caso de restricciones y en función de los correspondientes planes, se programan los controles adicionales en la red de distribución, que básicamente consisten en la determinación de la turbidez, color, cloro residual, pH, amonio e indicadores microbiológicos, en especial coliformes totales y *E. coli*, es decir de aquellos parámetros que dan información más rápida y global sobre la calidad del agua. En definitiva, estos controles consisten en una serie de análisis adicionales por cada sector al que se restablece el servicio, además de los programados habituales. Para llevarlos a cabo se deberá contar con mayores efectivos para la toma de muestras y análisis, así como equipos portátiles de medición *in situ*, como turbidímetros, analizadores de cloro y pHmetros, en su caso. En los controles adicionales cabe la posibilidad de realizar análisis sofisticados como, por ejemplo, recuento de cianobacterias, *Giardia* y *Cryptosporidium*, virus, fagos, microcistinas, etc.

Para la selección de los de controles adicionales a realizar, determinados por la autoridad competente en los casos de sequía, se cuenta con herramientas como los sistemas de valoración y gestión del riesgo, los Planes Sanitarios del Agua o el Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC), aplicados tanto al control de la calidad de los recursos

como de las plantas de tratamiento o de la red de distribución.

4. Zonas más vulnerables

La vulnerabilidad a los desastres naturales depende en términos generales, de las características de los elementos afectados, es decir, incluye las características de una persona o un grupo y su situación, que van a determinar su capacidad de prever y anticiparse, gestionar y manejar la situación, resistir y recuperarse del efecto adverso ocasionado por el desastre (IPCC 2012). Desde una perspectiva de salud humana, la vulnerabilidad de la población va a depender de sus condiciones individuales (tipo de residencia, edad, ingresos, educación y discapacidad) y de factores sociales y ambientales como el nivel de preparación frente a desastres, respuesta del sector sanitario, etc. (Blaikie et al. 1994; Menne y Bertollini 2000; Olmos 2001; Adger et al. 2005; Few y Matthies 2006).

La vulnerabilidad de un territorio a las variaciones en los recursos hídricos está estrechamente relacionada con los usos dados a dicho territorio (Moreno et al. 2005; Benito et al. 2005). El espacio geográfico es más vulnerable cuanto mayor sea su necesidad de agua y mayor sean las garantías de uso que precisa. En condiciones de igualdad de volumen de agua demandado es mucho más vulnerable un territorio en el que el destino del agua sea para abastecimiento urbano que si es para regadío, ya que los requisitos de suministro urbano en cuanto a la calidad son más exigentes.

Con carácter general los territorios con mayor estrés hídrico deberían ser considerados los más vulnerables a variaciones en estos recursos, aunque debe tenerse en cuenta que habitualmente en éstos se desarrollan actuaciones adaptativas y preventivas. Existen diversos indicadores de estrés hídrico y la mayoría de ellos relacionan las demandas de agua y los recursos hídricos renovables.

Las áreas costeras degradadas medioambientalmente son particularmente vulnerables a los ciclones e inundaciones bajo las actuales condiciones climatológicas.

Las regiones más vulnerables a los riesgos hidrológicos son aquellas donde, además del posible aumento en los eventos extremos como consecuencia del cambio climático, existe una mayor sensibilidad y exposición de personas y bienes.

Las zonas rurales son vulnerables en función de la disponibilidad de sistemas de tratamiento de agua y en nuestro país, habitualmente, es deficitaria. Esto es así por varios factores entre los que se encuentran la calidad referida a las captaciones, predominantemente pozos individuales, y la calidad en el tratamiento donde se observa habitualmente el uso de la desinfección como único proceso de tratamiento del agua de consumo humano.

A priori, el prototipo de zona altamente sensible a los extremos hidrológicos se presenta en zonas muy pobladas con desarrollos urbanísticos recientes y con sectores socio-económicos sensibles como turismo, industria, etc.

España es uno de los espacios geográficos europeos más sensibles a los riesgos naturales merced a su posición geográfica, su carácter peninsular, su topografía, climatología y la ocupación humana. En España en el decenio 1995-2005 se registraron 704 víctimas mortales (media de 70 víctimas anuales) debido a la acción de eventos naturales, siendo los temporales marítimos y las inundaciones los que ocasionaron más víctimas (Olcina 2008).

Los habitantes de pequeños países insulares y regiones costeras, megalópolis, regiones montañosas y polares son especialmente vulnerables. Las áreas con infraestructuras de agua y saneamiento deficientes, la mayoría ubicadas en países en desarrollo, tendrán más dificultades para prepararse y responder.

Los colectivos de población más vulnerables a los riesgos sanitarios resultantes de las variaciones hídricas, son los niños, y en particular los de los países pobres, las personas mayores y las personas con patologías previas (OMS 2010).

Además, hay que considerar que las comunidades más pobres, particularmente las que viven en infraviviendas o chabolas, suelen vivir en áreas vulnerables a la inundación. En EEUU, los grupos de menor ingreso fueron los más afectados por el huracán Katrina y las escuelas más pobres tuvieron el doble de riesgo de quedar inundadas comparándolas con el grupo de referencia (Guidry y Margolis 2005).

4.1. Zonas más vulnerables a la sequía

Un indicador de la vulnerabilidad de los distintos territorios en España puede obtenerse estableciendo el balance entre los mapas de recursos potenciales y demandas de consumo, siendo definido de la siguiente manera:

- Recurso potencial: la fracción no reservada de los recursos naturales más los recursos procedentes de la desalación de agua de mar, por las transferencias existentes y recursos no convencionales (mar, reutilización,...).
- Demanda consuntiva o de consumo: la fracción de la demanda de agua que no se devuelve al medio hídrico después de su uso, siendo consumida por las actividades, descargada al mar o evaporada. Incluye parte de demanda urbana, irrigación y las demandas de agua industriales.

Un mapa de demandas consuntivas refleja las distintas posibilidades de reutilización directa o indirecta de los recursos hídricos. Se obtiene el mapa con los balances en cada sistema de explotación de recursos definidos en las cuencas españolas aplicando un 80%

a la demanda consuntiva para riego y para la demanda urbana e industrial un porcentaje según la localización geográfica: 90% en la franja costera peninsular de 10 Km., 80% en la franja costera insular de 10 Km. y 20% en el resto del territorio.

El balance agregado por sistemas de explotación presupone la completa utilización de los recursos potenciales generados en todo el territorio del sistema y, en su caso, de los recursos procedentes de la desalación de agua de mar y de las transferencias de otros sistemas. Esto representa una cota máxima de aprovechamiento que requeriría disponer del conjunto de infraestructuras y condiciones de calidad necesarias. En la *figura 11* se muestran los sistemas de explotación con déficit en España.

El mapa anterior muestra que los déficits se localizan fundamentalmente en el Segura, la cabecera del Guadiana, Vinalopó-Alicante y Marina Baja en el Júcar, la zona oriental de la cuenca del sur, junto con otros sistemas menos extensos en la margen derecha del Ebro. Ahora bien, a pesar de que todos estos sistemas son deficitarios, la magnitud de los problemas es muy distinta; no es comparable el déficit de los sistemas de la margen derecha del Ebro, de mucha importancia local, con el de la cabecera del Guadiana o el del conjunto formado por los sistemas meridionales del Júcar, el Segura y los sistemas orientales del Sur, con un impacto territorial y dimensión notablemente superior (MIMAM 2000).

Este mapa puede dar lugar a interpretaciones erróneas, pues al tratarse de cifras absolutas están condicionadas por el tamaño de los sistemas, que varía mucho de unos casos a otros. Para evitarlo se elaboró el denominado índice de consumo, que relaciona la demanda consuntiva con los recursos potenciales (MIMAM 2000). Este índice da lugar al mapa de riesgo de escasez que podría entenderse como un

buen indicador del grado de vulnerabilidad de los distintos sistemas de explotación de recursos hídricos en España a las variaciones en estos recursos (figura 12).

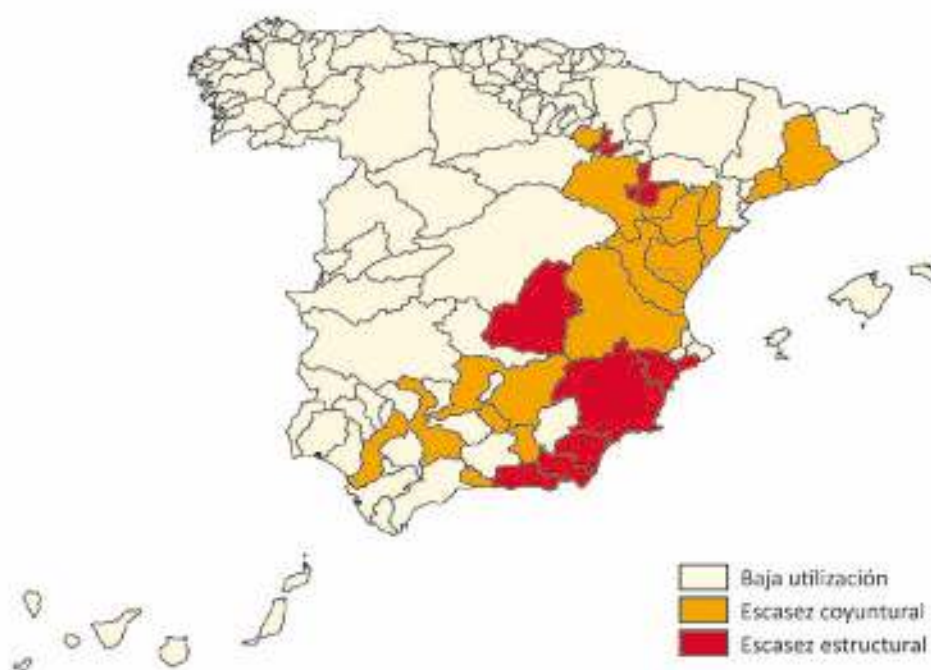
Los más vulnerables son aquellos clasificados como de escasez estructural, siguiéndoles en un menor grado los clasificados como de escasez coyuntural.

Figura 11. Mapa de déficit ($hm^3/año$) en los sistemas de explotación



Fuente: MIMAM 2000

Figura 12. Mapa de riesgo de escasez en los sistemas de explotación



Fuente: MIMAM 2000

En la figura anterior puede apreciarse que los sistemas deficitarios padecen una escasez de tipo estructural, es decir, el recurso potencial incluyendo reutilización, desalación y transferencias, es sistemáticamente inferior al nivel de consumo que se pretende alcanzar. Pero existe, además, un conjunto de sistemas que, aun presentando superávit, corren el riesgo de sufrir una escasez de carácter coyuntural, debido a que sus niveles de consumo se hallan relativamente próximos al recurso potencial. En tales condiciones, secuencias hidrológicas adversas podrían dar lugar a problemas de suministro por insuficiencia de recursos.

Una parte importante de los sistemas de explotación de la mitad suroriental de la península, junto con algunos sistemas de la margen derecha del Ebro, parte de Cataluña y algunas islas, estarían sometidos, aun en el hipotético caso de máximo aprovechamiento de los recursos potenciales, incluyendo desalación, transferencias y máximo grado de reutilización, a una escasez de recursos de carácter estructural o coyuntural.

4.2. Zonas más vulnerables frente a inundaciones y crecidas

La vulnerabilidad a los fenómenos de crecida en España no debe leerse exclusivamente en términos de los posibles efectos del cambio climático, sino que existe una componente importante motivada por el desarrollo urbanístico incontrolado de las últimas décadas (Moreno et al. 2005; Benito et al. 2005). En las últimas décadas, se ha puesto de manifiesto que los eventos con mayor impacto socio-económico se han relacionado con crecidas relámpago que han afectado a cuencas de tamaño medio o pequeño. Aunque el número de fenómenos hidrológicos extremos hayan disminuido en número y magnitud en las últimas décadas respecto a los producidos a principios y mediados del siglo pasado, los daños globales computados

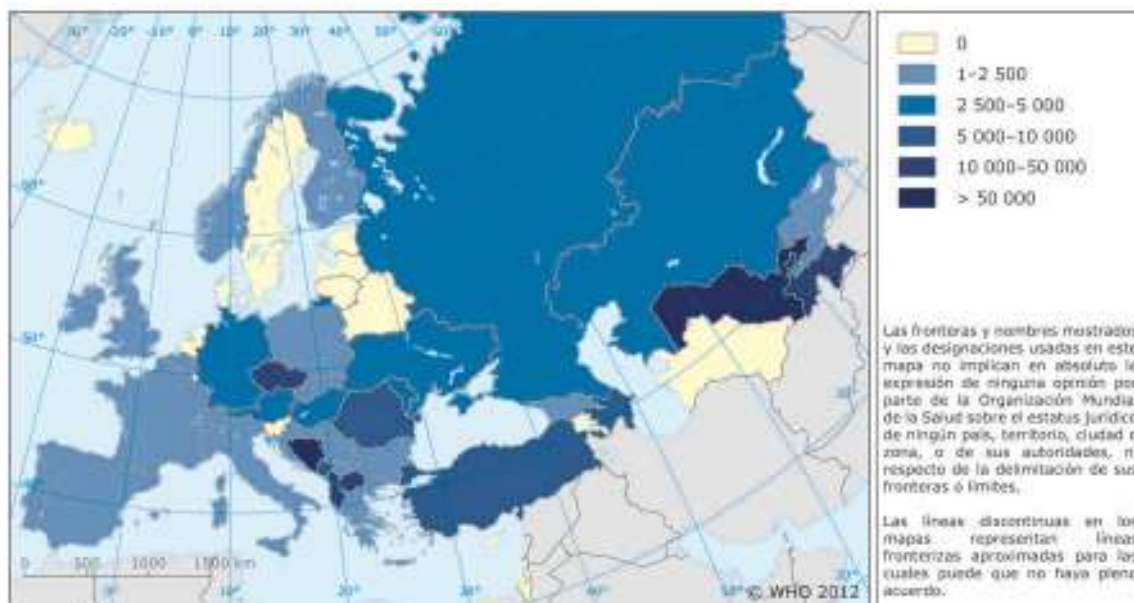
han sido sustancialmente mayores debidos al aumento de la vulnerabilidad y exposición de las actividades humanas próximas a los cauces.

Las zonas en las que con mayor probabilidad pueden desencadenarse precipitaciones se localizan en la franja mediterránea, zonas del interior del valle del Ebro y zonas dispersas del interior peninsular, asociadas a cuencas de pequeño tamaño. Por otro lado en la zona norte de la Península Ibérica se espera un incremento de los fenómenos de gota fría y de la generación de núcleos convectivos que darán lugar a una mayor irregularidad de extremos y más crecidas relámpago (Benito et al. 2005). Las zonas vulnerables serán aquéllas donde la población, así como los bienes económicos y culturales, se encuentren expuestos al desastre. Por ello, las regiones con mayor riesgo resultarán del análisis combinado de las áreas susceptibles de recibir una precipitación anómala con zonas de mayor exposición de personas y bienes. De hecho, ya se cuenta con instrumentos que permiten mapear el volumen de población afectada por inundaciones y avenidas (*figura 13*).

Con objeto de evaluar los riesgos asociados a las inundaciones y posteriormente lograr una actuación coordinada de todas las Administraciones Públicas y la sociedad, para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones sobre la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica en el territorio al que afecten, se aprobó la Directiva 2007/60/CE que se transpone al ordenamiento jurídico estatal en el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio.

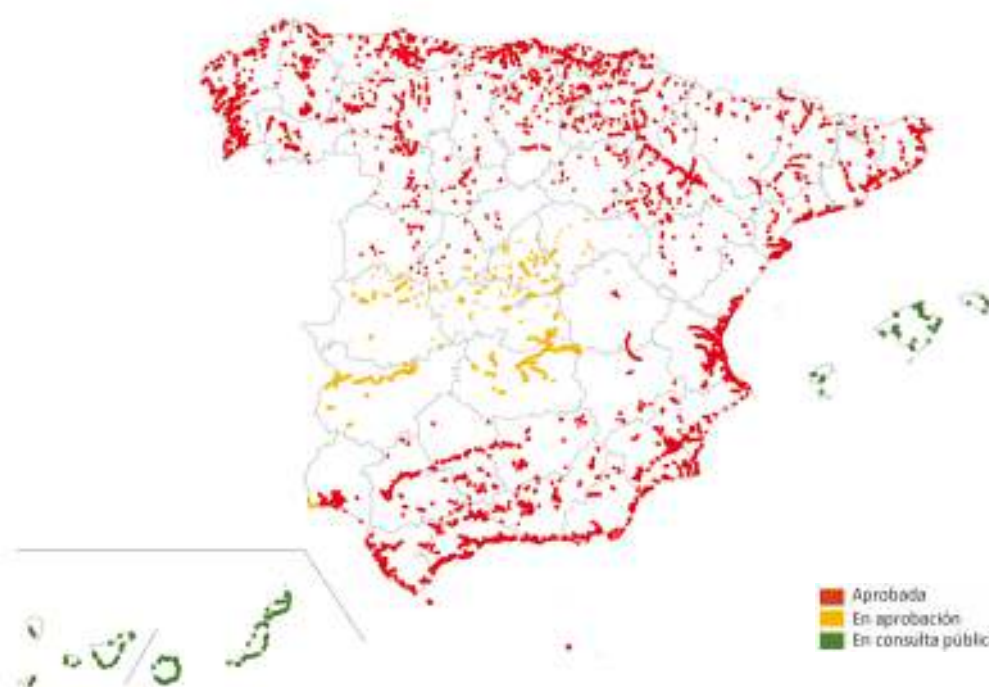
En la primera fase de la Evaluación preliminar de los riesgos de inundación (EPRI), se han identificado las llamadas Áreas de Riesgo Potencial Significativo por Inundación. (ARPSIs) (*figura 14*).

Figura 13. Personas (por millón) afectadas por inundaciones y movimientos de masas de agua



Fuente: WHO and Health Protection Agency (Public Health England) 2012

Figura 14. Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Diciembre 2010



Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), año 2011

En una segunda fase se elaborarán y/o revisarán los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación para delimitar y clasificar en función del nivel de riesgo. Así mismo, se indican los posibles daños que causarían las inundaciones a la población, a los bienes materiales y al medio ambiente. Estos mapas de peligrosidad y de riesgo se podrán consultar en el visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, debiendo estar realizados, de acuerdo con la Directiva y el Real Decreto, antes del 22 de diciembre de 2013.

Finalmente, se elaborarán Planes de Gestión del Riesgo de Inundación en el ámbito de las ARPSIs identificadas. Englobarán medidas de carácter preventivo y paliativo, estructural y no estructural, con el objetivo de garantizar nuevos asentamientos seguros, la disminución del riesgo actual y la mejora de las condiciones morfológicas de las masas de agua superficiales.

5. Repercusiones en otros sectores

En nuestro país, el *sector energético* es dependiente de la existencia de agua suficiente para la producción de energía hidroeléctrica y para la refrigeración en instalaciones térmicas y nucleares (Iglesias et al. 2005). En caso de sequía prolongada, este sector se

vería especialmente afectado para la generación de electricidad y cabe también considerar el incremento en la demanda energética como consecuencia de la necesidad de producción de las plantas desaladoras. Las crecidas parecen tener impacto en dos direcciones; por un lado afectando negativamente en el ámbito del transporte y distribución de la energía y, por otro, positivamente en la generación de energía hidroeléctrica al incrementarse el recurso hídrico estacionalmente. Además, debe tenerse en cuenta que la disminución de recursos hídricos, supone la demanda del sector agrícola de un tipo de regulación más adaptado a sus necesidades, con desembalse más irregular, y ello influirá en la producción hidroeléctrica de demanda más regularizada.

En España, los fundamentos del *sistema de cobertura de catástrofes* y, en particular de los daños por inundaciones, han estado basados en la aplicación de una prima indiferenciada para todos los riesgos cubiertos y para todo el territorio nacional, que gestiona el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS). Según los datos del CCS, en nuestro país, los daños por inundaciones se estiman en total en una media de 9.000 millones de euros anuales. Las estadísticas del Consorcio para el período 1987-2011 revelan que las inundaciones suponen el 69,06% de la

Vulnerabilidad

- La vulnerabilidad del territorio a variación en los recursos hidrológicos está estrechamente relacionada con los usos del mismo.
- Es más vulnerable un territorio cuanto mayor sea su necesidad de agua y cuando el destino de ésta sea para abastecimiento urbano. Además, las zonas rurales son especialmente vulnerables en función de la disponibilidad de sistemas de tratamiento del agua.
- La mayor vulnerabilidad a la sequía se produce en los territorios clasificados con escasez estructural: mitad suroriental peninsular y algunos sistemas de la margen derecha del Ebro.
- El análisis de la vulnerabilidad a crecidas e inundaciones combina susceptibilidad a precipitación anómala y mayor exposición de personas y bienes. En España: franja mediterránea, interior de valle del Ebro y zonas dispersas de interior peninsular con cuencas de pequeño tamaño.

siniestralidad total, seguido de un 16,70% correspondiente a tempestades ciclónicas y un 6,31% que es causado por actos de terrorismo (*tabla 14*). Un incremento en los daños por inundaciones no afectaría en gran medida al sector del seguro privado dado que todos los asegurados pagan una cantidad fija independientemente del grado de exposición en el que se encuentren. En el caso de los daños por sequías, las compañías privadas de seguros y reaseguros podrían verse afectadas económicamente debido fundamentalmente a los seguros agrícolas (Moreno et al. 2005).

Las inundaciones, y muy particularmente su repercusión mediática, afectan de forma negativa al *sector turístico*. Las condiciones de sequía tienen un efecto menor sobre el turismo, que en ocasiones puede estar favorecido por temporadas prolongadas de calor (Benito et al. 2005). Hay que considerar que la demanda de recursos hídricos del sector turístico es muy heterogénea en el tiempo. Una disminución en estos recursos y aún más, su peor distribución a lo largo del año será un factor de incidencia en el sector. Son precisamente las áreas mediterráneas, con escasas o nulas lluvias de estío, aquellas con mayor demanda turística y aquellas en las que los recursos hídricos pueden sufrir mayores disminuciones porcentuales según los escenarios previstos (Iglesias et al. 2005).

El *sector del transporte y distribución* puede verse afectado, en particular si se produce un incremento de las crecidas, por cuanto pueden suponer el corte temporal de vías de comunicación o de abastecimiento de mercancías. Los periodos de sequía no afectarían tanto al sector transporte y distribución, aunque podrían afectar negativamente a las empresas que requieran cantidades importantes de agua en los procesos de producción (Benito et al. 2005).

En España el *sector agrícola* es crítico. Se riegan más de 3 millones de hectáreas con aguas superficiales y 1 millón con aguas subterráneas. El regadío es posible gracias a un proceso de regulación generalizada con embalses y acuíferos. La disminución de precipitaciones ocasionará aumento del déficit de agua para riego; es decir, la garantía de uso se verá disminuida (Iglesias et al. 2005), con los consiguientes efectos en la producción agrícola y alimentaria.

El *sector forestal* es un sector de doble entrada, afectado por la cantidad y distribución espacial de la aportación hídrica y al mismo tiempo condicionante en el proceso de generación de recursos hídricos y muy especialmente de la cantidad e intensidad de las avenidas (Iglesias et al. 2005).

Tabla 14. Distribución de la siniestralidad pagada por causa de siniestro en daños de bienes. Serie 1987-2011

Causa	Nº expedientes	Cuantías pagadas	% Cuantías pagadas	Costes medios
Inundación	410.198	3.698.040.323	69,06%	9.015
Terremoto	39.080	348.396.443	6,51%	8.915
Tempestad ciclónica atípica	410.101	894.397.396	16,70%	2.181
Caída de cuerpos siderales y aerolitos	3	98.428	0,00%	32.809
Terrorismo	20.060	338.017.233	6,31%	16.850
Motín	152	1.096.493	0,02%	7.214
Tumulto popular	5.926	72.836.736	1,36%	12.291
Hechos y actuaciones de kasd FF.AA:	1.045	2.361.413	0,04%	2.260
TOTAL	886.565	5.355.244.465	100,00%	6.040

Datos a 31 de enero de 2012 - Euros actualizados a 31-12-2011

Fuente: El Consorcio de Compensación de Seguros, año 2012

6. Implicaciones para las políticas

6.1. A Nivel Europeo:

Las principales líneas de actuación desarrolladas por la Unión Europea se resumen en:

- Elaboración de la *Guía para el agua potable* de OMS, base para fijar los estándares nacionales e internacionales y reglamentos de calidad del agua potable. Esta guía contiene consejos para establecer planes de respuestas frente a incidentes; recomienda Planes de Seguridad del Agua para garantizar un agua de consumo sanitariamente segura y saludable.
 - Estudio “*Visión 2030*” (OMS/DFID 2009), especialmente dirigido a países con ingresos bajos y medios, analiza cómo y dónde el cambio climático afectará al agua potable y al saneamiento a medio plazo.
 - *Protocolo sobre Agua y Salud para la Protección y Uso de los Cursos de Agua Transfronterizos y Lagos Internacionales*, de la Convención de 1992 de la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas (CEPE). Aconseja medidas preventivas para evitar incidentes en la calidad del agua, así como el desarrollo de planes integrales de contingencia y frente a fenómenos climáticos extremos. En 2007 se estableció un grupo de trabajo sobre Fenómenos Climáticos Extremos, para desarrollar una guía de suministros de agua y saneamiento. Está en preparación una guía de adaptación sobre agua y clima.
 - Directiva Marco del Agua (DMA) y Directiva sobre Inundaciones. La DMA obliga a proteger y recuperar todas las masas de aguas superficiales y subterráneas para conseguir, como muy tarde en 2015, un buen estado de las mismas, con las menores huellas de impacto humano posibles. La segunda directiva establece un marco para la adaptación con el objetivo de reducir las consecuencias adversas de las inundaciones para la salud, e insta a mapear las probabilidades de inundación y a evaluar los riesgos. El grupo de expertos de la Estrategia Común de Implantación de la DMA publicó en 2009 la guía “*Gestión de cuencas hidrográficas en un escenario de clima cambiante*”, donde se establece la necesidad de tener en cuenta el cambio climático en el segundo y tercer ciclos de planificación hidrológica. La implementación de ambas directivas debe ser coordinada desde 2015, cuando comienza el segundo ciclo de la implementación de los Planes de Medidas de Cuenca (RBMP por sus siglas en inglés), demandados por la DMA .
- Otras directivas tratan los potenciales impactos relacionados con el agua y la salud: Directiva del agua destinada al consumo humano, Directiva para la gestión de la calidad de las aguas de baño y Reglamentación sobre higiene alimentaria.
- La Estrategia de la UE ante la Escasez de Agua y Sequía recomienda añadir planes de gestión de sequías a los Planes de Medidas de Cuenca en las regiones con riesgo de escasez de recursos hídricos. La Comunicación Oficial de la Comisión Europea (CE), en julio de 2007, relativa a la escasez de agua y sequía, pretende encaminar las medidas de adaptación futuras a atajar el creciente impacto sobre la escasez de agua y sequía en las décadas venideras y recomienda el establecimiento de un Observatorio Europeo de la Sequía, que ha visto la luz en 2011 .
 - Publicación de “*Best practices on flood prevention, protection and mitigation*” (Unión Europea 2004), documento de buenas prácticas en relación con los riesgos de crecidas y que constituye un primer paso para el desarrollo de medidas legislativas.

- Establecimiento de instrumentos financieros, como el *Fondo de Solidaridad de la Unión Europea (FSUE)*, para paliar los daños económicos derivados de catástrofes naturales. En ellos subyace la idea de enfrentar la previsible repetición de catástrofes relacionadas con efectos medioambientales negativos de origen antropogénico y, especialmente, con la aceleración del cambio climático.

En un marco más amplio de investigación científica se han desarrollado proyectos dirigidos a la Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT) de los problemas sanitarios asociados a las alteraciones de ciclo hidrológico y, especialmente a los efectos sobre la salud de eventos extremos, dentro de los Programas Marco de Investigación de la UE.

En el Sexto Programa Marco (2002-2006), dentro de la acción específica para cambio climático y salud, destaca el proyecto MICRODIS (Impactos Sanitarios, Sociales y Económicos Integrados de los Eventos Extremos) cuyos principales objetivos fueron relativos a consolidar los fundamentos científicos y empíricos de la relación entre eventos extremos e impactos en salud; desarrollar e integrar conocimiento, conceptos, métodos, herramientas y bases de datos para una estrategia global común; así como mejorar los recursos humanos y la capacidad de adaptación en Europa.

En el 7º Programa Marco (2007-2013) los retos que plantean las presiones naturales y antropogénicas sobre el medio ambiente y sus recursos se abordan desde una aproximación de coordinación paneuropea e internacional que incluya el cambio climático. Se destinó un presupuesto de 1,9 billones de euros a las siguientes prioridades en investigación: cambio climático, riesgos naturales, medio ambiente y salud, gestión de recursos naturales, biodiversidad, medio marino, gestión del suelo y urbano, tecnología medioambiental incluida la herencia cultural, observación

terrestre, Europa amigable y sostenible desde la perspectiva medioambiental y valoración de instrumentos para el desarrollo sostenible.

Además, se cuenta con instrumentos como la Comunicación Oficial de la CE sobre la aproximación en la prevención de desastres naturales y causados por el hombre (COM 2009) y el *Libro Blanco para la Adaptación al Cambio Climático de la Comisión Europea* publicado en 2009, que establece un marco para reducir la vulnerabilidad de la UE frente a impactos del cambio climático.

Los gobiernos deberán llevar a cabo políticas que evalúen las vulnerabilidades regionales ante el impacto del cambio climático, especialmente las relativas a los servicios de suministro de agua de consumo que deberán ser lo suficientemente flexibles frente a los eventos extremos y ser capaces de proveer a la población agua suficiente con unos estándares de calidad satisfactorios (EEA 2011). Para ello se requiere desarrollar las políticas de adaptación y mitigación que aseguren estos aspectos.

6.2. A Nivel Nacional

En la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático se contempló la repercusión de la disminución de los recursos hídricos en las políticas científica y tecnológica, hidráulica, energética, agrícola, medioambiental y de planificación del territorio.

El PNACC, presentado en 2006, proponía acciones concretas para la evaluación de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos. Este Plan incluía Programas de Trabajo. El primer Programa de Trabajo que desarrolló el PNACC tenía entre sus objetivos la evaluación de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos y sobre las demandas de riego. El PNACC incluía las siguientes líneas de trabajo en esta materia:

- Desarrollo de modelos regionales acoplados clima-hidrología que permitan obtener escenarios fiables de términos y procesos del ciclo hidrológico, incluidos eventos extremos.
 - Desarrollo de indicadores del cambio climático y de modelos de la calidad ecológica de las masas de agua, compatible con el esquema de aplicación de la DMA.
 - Aplicación de escenarios hidrológicos generados para el siglo XXI a sectores altamente dependientes de los recursos hídricos (energía, agricultura, salud, bosques, turismo, etc.).
 - Evaluación del sistema de gestión hidrológica bajo los escenarios hidrológicos generados para el siglo XXI.
 - Desarrollo de directrices para incorporar en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental y de Evaluación Ambiental Estratégica las consideraciones de los impactos del cambio climático para los planes y proyectos del sector hidrológico.
- Galicia Costa mediante Real Decreto 1332/2012 de 14 de septiembre.
 - Tinto, Odiel y Piedras mediante Real Decreto 1329/2012 de 14 de septiembre.
 - Guadalete - Barbate mediante Real Decreto 1330/2012 de 14 de septiembre.
 - Cuencas Mediterráneas Andaluzas mediante Real Decreto 1331/2012 de 14 de septiembre.
 - En 2011 se aprobó el plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña mediante Real Decreto 1219/2011 de 5 de septiembre.
 - En 2001 se aprobó el Plan Hidrológico de las Illes Balears mediante Real Decreto 378/2001.

En el año 2013 hasta la fecha se han aprobado por el Consejo Nacional del Agua los planes hidrológicos de las cuencas del Miño-Sil, Guadalquivir, Guadiana y Cantábrico Occidental y Oriental.

En materia de agua y salud se elaboró la siguiente normativa en España entre 2007 y 2010:

Entre 2007 y 2009 se desarrolló un proceso de planificación hidrológica que pretendía, entre otros objetivos, incluir estrategias orientadas a implantar criterios de sostenibilidad, evaluación ambiental, protección y mejora de los ecosistemas, reducción de la contaminación y de los efectos de sequías e inundaciones. Los planes hidrológicos de cuenca, esenciales para alcanzar los objetivos de calidad del agua, aún no han sido concluidos en nuestro país.

En la actualidad, los Planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias vigentes fueron elaborados por las Confederaciones Hidrográficas y aprobados mediante el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio. En 2012 se han aprobado los planes hidrológicos de las siguientes demarcaciones hidrográficas:

- ORDEN ARM/2444/2008, de 12 de agosto, por la que se aprueba el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación.
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.
- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de Evaluación y Gestión de riesgos de inundación.

En el ámbito de salud pública, se aprobó la Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública, que incluye entre los principios de las actuaciones en salud pública los principios de equidad, pertinencia, seguridad y de salud en todas las políticas y que supone que dichas actuaciones tendrán en cuenta las políticas de carácter no sanitario que influyen en la salud, promoviendo aquellas que favorezcan los entornos saludables y disuadiendo de aquellas que supongan riesgos para la salud.

En salud pública la relación entre el agua y la salud se ha de contemplar en términos de:

- Promoción de la salud, incluyendo acciones dirigidas a incrementar los conocimientos e información, así como hábitos de ahorro de agua y uso saludable del agua, con el fin de favorecer su impacto positivo en la salud individual y colectiva.
- Protección de la salud entendida como el conjunto de actuaciones, prestaciones y servicios dirigidos a prevenir efectos adversos que el agua pueda tener sobre la salud. Incluye el análisis de los riesgos para la salud, la evaluación, gestión y comunicación de dichos riesgos, y el desarrollo de acciones sobre los factores desencadenantes de los mismos. En este sentido conviene destacar los Planes Sanitarios del Agua (Water Safety Plans). Estos planes son un método de evaluación del riesgo para la calidad del agua de consumo, con el cual se protege mejor la salud pública. El plan está basado en la evaluación de factores de riesgo que

potencialmente puedan ser adversos y afectar a la calidad del agua de consumo humano.

Actualmente el MSSSI está desarrollando, junto a la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento, una herramienta para facilitar a todo gestor de un abastecimiento la elaboración de su PSA. Esta herramienta se compone de tres apartados:

- fichas con eventos posibles y las recomendaciones sobre cómo detectarlos, las mejores medidas correctoras y medidas preventivas;
 - en segundo lugar, una aplicación donde se vayan señalando los problemas y su grado y el tipo de evento. Esta aplicación ofrecerá al gestor los puntos críticos de su abastecimiento y la recomendación para solucionarlo;
 - por último, la tercera parte es una guía de utilización de los dos apartados anteriores.
- La vigilancia en salud pública de los riesgos ambientales y sus efectos sobre la salud, incluye el control de los posibles agentes contaminantes presentes en el agua y sus efectos sobre la salud, así como el desarrollo de sistemas de alerta y respuesta rápida. Se tiene como herramienta informativa el SINAC. En relación con los efectos sobre la salud, la vigilancia se centra en los brotes de transmisión hídrica tanto infecciosos como químicos.

Implicaciones para las políticas

- En España se han desarrollado procesos de planificación hidrológica y normativa específica en esta materia.
- Existe un número importante de Planes hidrográficos de cuenca aprobados.
- En el ámbito de la Salud Pública se viene trabajando en promoción, protección y vigilancia.

7. Principales opciones adaptativas

La adaptación al cambio climático, por su propia naturaleza, requiere una estrategia a medio o largo plazo de forma sostenida, considerando las políticas y medidas de adaptación como un proceso continuo.

La adaptación, entendida como la respuesta dirigida a minimizar los impactos o aprovechar las oportunidades, debe plantear medidas sectoriales que han de evaluarse de forma integrada con el resto de sectores. Antes de poner en práctica cualquier estrategia ó medida de adaptación, conviene evaluar sus posibles efectos para la salud.

7.1. Planificación hidrológica

Como se plantea en el PNACC, los recursos hídricos son de alto interés e importancia estratégica tanto para la planificación hidrológica a medio y largo plazo como por su papel director en muchos otros sectores y sistemas. Conocer los escenarios hidrológicos futuros es fundamental para sectores como la salud, el turismo, agricultura y biodiversidad -entre otros-, cuyo desarrollo, planificación y gestión están condicionados por las opciones de adaptación en los posibles escenarios hidrológicos.

El efecto de los eventos extremos sobre los recursos hídricos será mayor o menor en función del conocimiento y toma de conciencia de los riesgos, de la preparación previa y las medidas de reducción de riesgos adoptadas.

En el sector de los recursos hídricos una visión de abajo a arriba resulta muy importante para impulsar medidas de reutilización, reciclado, prevención de la contaminación, ahorro de agua, gestión de sequías, zonificación de áreas inundables, etc. Estas son opciones importantes para la gestión de los recursos hídricos, al margen del cambio climático, y que a la vez constituyen también medidas de adaptación.

Para adaptarse al aumento de estrés hídrico, las estrategias puestas en marcha buscan responder tanto al suministro como a la demanda de recursos hídricos. Las más comunes siguen siendo relativas al suministro, como por ejemplo, el represamiento para formar embalses en los ríos (Santos et al. 2002; Iglesias et al. 2005). Sin embargo, las normas medioambientales (Barreira 2004) y los elevados costos de inversión (Schröter et al. 2005) están dificultando cada vez más la construcción de nuevos embalses en Europa.

Las medidas de lucha contra la escasez de agua, como la reutilización de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas con fines de riego, tienen también implicaciones respecto a la salud humana. Hay directrices estrictas sobre la calidad de las aguas residuales destinadas al riego, cuya finalidad es prevenir los riesgos sanitarios ocasionados por organismos patógenos y asegurar la calidad de los cultivos (Steenvoorden y Endreny 2004).

La popularización de soluciones orientadas al suministro, como la reutilización de aguas residuales o la desalinización, tropieza con los problemas sanitarios que conlleva la reutilización de aguas residuales (Geres 2004) y con el elevado costo energético de la desalinización (Iglesias et al. 2005). España es uno de los países que más uso hace de la desalinización, especialmente en las zonas litorales del Mediterráneo donde existen grandes núcleos de población. En cuanto a la reutilización de aguas residuales, es el único país en la UE que tiene legislación en esta materia, recogiendo los requisitos para la reutilización en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre.

Entre las estrategias viables planificadas desde el punto de vista de la demanda (EEA 2002), se incluyen la conservación de agua para usos domésticos, industriales y agrícolas, la reducción de las pérdidas en los sistemas municipales de abastecimiento de agua y en los sistemas de riego (Donevska y Dodeva

2004; Geres 2004), o el control de los precios del agua (Iglesias et al. 2005). La demanda de agua de riego podría reducirse con la introducción de cultivos más adecuados a los escenarios previsibles consecuencia del cambio climático. Un ejemplo europeo, único en su género, de metodología de adaptación al estrés hídrico es la incorporación, en los planes de gestión hídrica integrada, de estrategias de adaptación al cambio climático a nivel regional y a nivel de cuenca (Kabat et al. 2002; Cosgrove et al. 2004; Kashyap 2004), junto con el diseño de estrategias nacionales adaptadas a las estructuras de gobernanza existentes (Donevska y Dodeva 2004).

En relación a las estrategias de adaptación frente a eventos extremos como las sequías e inundaciones, la principal medida estructural de protección contra las crecidas es probable que sea la construcción de embalses en tierras altas y de diques en áreas bajas (Hooijer et al. 2004). Otras opciones de adaptación planificadas que están adquiriendo relevancia son la desocupación de las zonas inundables, el uso de tecnologías de drenaje sostenible a nivel urbano, la ampliación de llanuras inundables (Helms et al. 2002), los reservorios de emergencia frente a crecidas (Somlyódy 2002), las áreas de reserva para aguas de crecida (Silander et al. 2006) y los sistemas de predicción y alerta frente a crecidas, particularmente crecidas repentinas. Los reservorios polivalentes sirven como medida de adaptación tanto frente a las crecidas como frente a las sequías.

En España, como resultado de un programa de la Dirección General del Agua, se ha desarrollado un Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). El sistema es el encargado de captar y transmitir información en tiempo real, procesar y presentar aquellos datos que describen el estado hidrológico e hidráulico de la cuenca. Este sistema tiene como objetivos permitir una mejor gestión de las avenidas como de las sequías, así como de la gestión

de caudales ecológicos, calidad del agua y la gestión de riegos.

Otras medidas podrían ser la protección de captaciones, sobre todo pozos, contar con captaciones alternativas y desarrollar planes de emergencias en las plantas de tratamiento de agua de consumo (ETAPs) y en estaciones de tratamiento de aguas residuales (EDARs).

7.2. Salud

Un aspecto clave a integrar en las evaluaciones de impacto, vulnerabilidad y adaptación en cada uno de los diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos es el efecto en la salud del cambio climático y de las medidas de adaptación en la población cuya forma de vida depende de ellos.

Las amenazas para la salud pública asociadas a las alteraciones del ciclo hidrológico por los impactos del cambio climático, se derivan del efecto en la calidad de agua de consumo humano y en la calidad de las aguas recreativas.

Se requiere revisar, reorientar y divulgar los recientes programas nacionales e internacionales, cuyo objetivo es reducir la carga que presentan los determinantes climáticos en la salud y sus consecuencias, para hacer frente al estrés adicional del cambio climático. Esto incluye considerar los riesgos relacionados con las alteraciones del ciclo hidrológico por los impactos del cambio climático en sistemas de supervisión y seguimiento de enfermedades, así como en la planificación de sistemas de salud. Las medidas de adaptación aplicadas al sector hidrológico pueden considerar el beneficio en salud (IPCC 2007).

La protección de la salud pública frente a alteraciones de los recursos hídricos y los sistemas hidrológicos exige una acción coordinada que permita evaluar tanto los impactos potenciales en la salud pública como en los sistemas

de atención sanitaria, con el fin de establecer medidas eficaces de adaptación (Comisión de las Comunidades Europeas 2007).

A corto plazo, se necesitan planes de actuación en salud pública basados en sistemas de detección y alerta temprana que permitan la identificación de las situaciones de riesgo, para posibilitar la articulación de una respuesta ágil y efectiva en salud pública. Este es el caso del sistema actual en España, SINAC, que desde 2003 cuenta con un sistema de alerta si los valores superan ciertos niveles que desencadenan avisos inmediatos a las administraciones locales, autonómicas y central, así como a los gestores de los abastecimientos.

En España existe legislación y sistemas de vigilancia de la calidad de las aguas. Los sistemas de información actuales son el ya mencionado SINAC, (<http://sinac.msssi.es>) que provee información particularizada de cada abastecimiento y geográfica de la calidad sanitaria de las aguas de consumo. Este sistema se ha consolidado como una

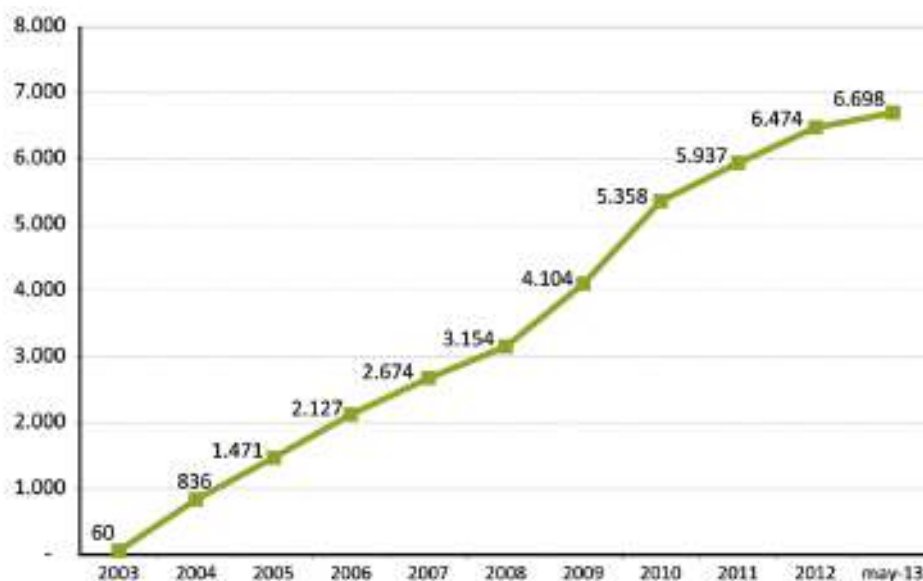
herramienta útil para la Salud Pública, utilizada por más de 6.500 profesionales (*figura 15*).

El SINAC (2011) recaba información de 9.610 zonas de abastecimiento que corresponden a cerca del 94% de la población censada. De ellas, un 83% notificó al sistema, que corresponde al 90% de la población española. Entre 2007 y 2011 la calificación sanitaria de apta para consumo humano ha superado el 99% del total de boletines notificados al sistema.

En relación a la calidad de las aguas de baño españolas, el 87,4% de las aguas de baño continentales fueron calificadas de calidad suficiente, buena y excelente y en el caso de las aguas marítimas el porcentaje ascendió al 97,5% según la información recogida por el sistema de información sanitaria NAYADE (<http://nayade.msssi.es>) que compila información sobre las características de las playas y la calidad del agua de baño en España.

Las medidas de adaptación en este ámbito requieren el mantenimiento de los sistemas

Figura 15. Evolución del número de usuarios profesionales dados de alta en el sistema. SINAC 2003-2013



Fuente: Información facilitada por el MSSSI, año 2013

de detección y alerta temprana actuales y la extensión de los procesos de tratamiento, particularmente a las áreas rurales. Por otro lado, se requieren planes de emergencia en todos los abastecimientos complementados con actuaciones y medidas en el ámbito de los servicios sanitarios, que permitan la adecuación de la asistencia a las situaciones de riesgo y/o alerta. En estos planes, se debe considerar la coordinación con los servicios sociales, fundamentalmente de aquellos destinados a los colectivos más vulnerables (Moreno et al. 2005).

La naturaleza y magnitud de los efectos finales provocados por efecto de las alteraciones en el ciclo del agua, dependerán de la capacidad de adaptación de los sistemas sanitarios y de las medidas que se adopten, así como del acceso general de las distintas poblaciones a sus servicios (Comisión de las Comunidades Europeas 2009).

8. Principales necesidades de investigación

Las principales necesidades de investigación y líneas de trabajo deberán dirigirse a avanzar en medidas de adaptación y en términos generales mejorar:

- Los datos observacionales y su accesibilidad, para conocer más a fondo los cambios que están sucediendo y mejorar los modelos y las proyecciones (trabajo sobre el cambio climático y el agua realizado por el Grupo de Trabajo II del IPCC GTI RT.6; GTII 3.8).
- En relación a la gestión y manejo de aguas transfronterizas, se requiere propiciar la garantía de la calidad, la homogeneización de los conjuntos de datos y la intercalibración de los métodos y procedimientos, particularmente en aquellos casos en que más de un organismo, país, etc. mantienen actividades de monitoreo en una misma región o cuenca de captación.

Opciones adaptativas

- En respuesta al estrés hídrico, las medidas adaptativas pueden responder al suministro y a la demanda de recursos hídricos:
 - Medidas de respuesta al suministro: incluyen entre otras el represamiento en ríos, la reutilización de aguas residuales y la desalinización.
 - Medidas de respuesta a la demanda incluyen medidas de conservación de agua, la reducción de pérdidas en los sistemas de abastecimiento y de riego, y la adecuación de los cultivos a los escenarios previsibles consecuencia del cambio climático.
- En respuesta a eventos extremos, se incluyen medidas como construcción de diques y embalses, desocupación de zonas inundables, drenaje sostenible en medio urbano, reservorios de emergencia y áreas de crecida, así como sistemas de predicción y alerta.
- En salud las medidas deben orientarse a reducir la carga de los determinantes climáticos en la salud y sus consecuencias para enfrentar el estrés adicional consecuencia del cambio climático. Las medidas incluyen planes de salud pública basados en sistema de detección y alerta, planes de emergencia en todos los abastecimientos y medidas en el ámbito de los servicios sanitarios para la adecuación de la respuesta.

Cabe señalar la importancia del estudio de las aguas subterráneas.

- Profundizar en el conocimiento de la interrelación entre la calidad y disponibilidad de agua en nuestro país como consecuencia del efecto del cambio climático. Este conocimiento permitiría la identificación de indicadores para la monitorización y el seguimiento de la situación, particularmente en las zonas identificadas de mayor riesgo, y trasladar esta información a la sociedad, fomentando así la cultura de la sostenibilidad en la ciudadanía.
- En el ámbito de la salud es pertinente insistir en la realización de estudios epidemiológicos sobre los posibles vínculos entre el cambio climático y las enfermedades de transmisión hídrica. Se necesita avanzar y profundizar en el análisis de la información, especialmente en lo que se refiere a la identificación de tendencias, establecimiento de posibles asociaciones, así como el desarrollo de modelos que permitan predicciones más fiables acerca de los impactos del clima sobre la salud relacionados con el agua. En la actualidad, los datos de la mayor parte de los sistemas de vigilancia en salud humana, en general infraestiman la incidencia real de brotes y/o enfermedades de transmisión hídrica, debido a que no todos los brotes son detectados, notificados o investigados. En España se dispone de datos de brotes desde 1976, aunque la notificación de los mismos es obligatoria desde 1982. Así mismo, se debería homogeneizar y mejorar la recogida de datos.
- En materia de evaluación y gestión de riesgos, el ECDC por su parte ha encargado una completa evaluación de riesgos centrada específicamente en los efectos del cambio climático en las enfermedades de transmisión hídrica en la UE. Los objetivos de este proyecto son determinar, evaluar y ayudar a clasificar, conforme a su prioridad, los efectos previsibles a corto y largo plazo del cambio climático en las pautas de transmisión de estas enfermedades. Cuando se disponga de los resultados de este proyecto, está previsto el desarrollo de herramientas para facilitar que los países realicen sus propias evaluaciones de riesgo.
- Se requieren análisis de riesgos para aquellas zonas especialmente vulnerables a alteraciones del ciclo hidrológico en nuestro país y para los problemas de insuficiencia en las plantas de tratamiento para proveer los adecuados a los posibles contaminantes del agua captada. Implantación de sistemas sanitarios del agua en todos los abastecimientos de nuestro país para evaluar el riesgo y determinar los puntos críticos de cada uno de ellos. Esta sistemática de evaluación del riesgo se debería aplicar de igual manera a las aguas de baño.
- En materia de monitorización, la selección de indicadores de impacto en salud, como consecuencia de los efectos en los recursos hídricos provocados por el cambio climático, persiste como una asignatura pendiente en nuestro país y muchos otros de nuestro entorno.
- Las autoridades deben responder ante la aparición de nuevos riesgos de enfermedad transmitida por el agua, con criterios basados en evidencia científica, para abordar la amenaza allá donde se produzca. Esto requerirá de cooperación, de la puesta en común del conocimiento existente, así como de la información y los recursos, la evaluación sistematizada de los riesgos y la adopción de estrategias de prevención que puedan ser utilizadas en diferentes áreas.

9. Bibliografía

- Adger W, Hughes T, Folke C, Carpenter S and Rockstrom J.** Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*. 2005; 309: 1036-1039.
- Ahern MJ, Kovats RS, Wilkinson P, Few R and Matthies F.** Global health impacts of floods: epidemiological evidence. *Epidemiol. Rev.* 2005; 27: 36-45.
- Andréasson J, Bergström S, Carlsson B, Graham LP and Lindström G.** Hydrological change: climate impact simulations for Sweden. *Ambio*. 2004; 33(4-5): 228-234.
- Arnell NW.** Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *J. Hydrol.* 2003; 270: 195-213.
- Arnell NW.** Climate change and global water resources: SRES emissions and socio economic scenarios. *Global Environmen. Chang.* 2004; 14: 31-52.
- Barreira A.** Dams in Europe. The Water Framework Directive and the World Commission on Dam Recommendations: A Legal and Policy Analysis. 2004. <http://assets.panda.org/downloads/wfddamsineurope.pdf>.
- Benito G, Corominas J y Moreno JM.** Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Impactos del cambio climático en España/ Impactos sobre los riesgos Naturales de origen climático. Riesgo de crecidas fluviales. 2005. pp. 545-546.
- Benito G, Barriando M, Llasat C, Machado M and Thorndycraft V.** Impacts on natural hazards of climatic origin. Flood risk. In: A Preliminary General Assessment of the Impacts in Spain Due to the Effects of Climate Change [Moreno, J.M. (ed.)]. Ministry of Environment, Spain. 2005. pp. 507-527.
- Blaikie P, Cannon T, Davis I and Wisner B.** *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, 2nd ed., Routledge, New York. 1994. pp. 320.
- Bouma MJ y Dye C.** Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela. *Journal of the American Medical Association* 1997; 278, in press.
- CDC.** Vibrio illnesses after Hurricane Katrina: multiple states, August-September 2005. *MMWR-Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, 54: 928-931.
- CEDEX.** Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en el régimen natural. 2011. [último acceso: 02/04/2013] (<http://hispagua.cedex.es/documentacion/documento/111849>).
- CEDEX.** Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en régimen natural. (http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacionhidrologica/EGest_CC_RH.aspx).
- Chase JM, Knight TM.** Drought-induced mosquito outbreaks in wetlands. *Ecology Letters* 2003; 6(11):1017-1024.
- Choudhury AY and Bhuiya A.** Effects of biosocial variable on changes in nutritional status of rural Bangladeshi children, pre- and post-monsoon flooding. *J. Biosoc. Sci.* 1993; 25: 351-357.
- Christensen JH and Christensen OB.** Severe summertime flooding in Europe. *Nature*. 2003; 421: 805.
- Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Koli RK, Kwon W-T, Laprise R, Rueda VM, Mearns L, Menéndez CG, Räisänen J, Rinke A, Sarr A and Whetton P.:** Regional climate projections. *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge. 2007; 847-940.
- Consortio de Compensación de Seguros (CCS)** . La cobertura de los riesgos extraordinarios en España. 2012.
- Combs DL, Quenenmoen LE and Parrish RG.** Assessing disaster attributable mortality: development and application of definition and classification matrix. *Int. J. Epidemiol.* 1998; 28, 1124-1129.
- Comisión de las Comunidades Europeas.** Libro Blanco Juntos por la Salud. 2007 Bruselas, 23.10.2007 COM (2007) 630 final.
- Comisión de las Comunidades Europeas.** Libro Blanco. Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación Bruselas, 1.4.2009 COM (2009) 147 final. pág. 12.
- Comisión Económica para Europa (CEPE – UNECE, por sus siglas en inglés).** Protocolo sobre Agua y Salud para la Protección y Uso de los Cursos de Agua Transfronterizos y Lagos Internacionales. 1992. <http://www.unece.org/env/water/pdf/watercon.pdf>.
- Cosgrove W, Connor R and Kuylenstierna J.** Workshop 3 (synthesis): climate variability, water systems and management options. *Water Sci. Techn.* 2004; 7: 129–132.
- De Senerpont Domis LN, Mooij WM & Huisman J.** Climate-induced shifts in an experimental phytoplankton community: a mechanistic approach. *Hydrobiologia.* 2007; 584: 403-413.
- Del Ninno C and Lundberg M.** Treading water: the long term impact of the 1998 flood on nutrition in Bangladesh. *Econ. Hum. Biol.* 2005; 3: 67-96.
- Donevska K and Dodeva S.** Adaptation measures for water resources management in case of drought periods. Proc. XXIIInd Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Brno, 30 August–2 September 2004, CD-edition.
- Douville H, Chauvin F, Planton S, Royer JF, Salas-Melia D and Tyteca S.** Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Clim. Dyn.* 2002; 20: 45–68.
- Eckhardt K and Ulbrich U.** Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *J. Hydrol.* 2003; 284(1–4): 244–252.
- Environmental Protection Agency (EPA)** Environmental Assessment Summary for Areas of Jefferson, Orleans, St. Bernard, and Plaquemines Parishes Flooded as a Result of Hurricane Katrina. 2005. http://www.epa.gov/katrina/testresults/katrina_env_assessment_summary.htm
- European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC).** Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe. ECDC 2012. <http://www.ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1203-TER-Potential-impacts-climate-change-food-water-borne-diseases.pdf>.
- EEA.** Europe's biodiversity — biogeographical regions and seas. Informe de temas medioambientales publicado por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente) Copenhague 2002. (http://reports.eea.eu.int/report_2002_0524_154909/en).
- EEA.** Climate change and river flooding in Europe. EEA Briefing. 2005; 1: 1-4.

- EEA.** Safe water and healthy water services in a changing environment..(EEA Technical report Nº 7/2011.) European Environment Agency, Copenhagen 2011. Doi:10.2800/78043.
- España.** Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública. Boletín Oficial del Estado del 5 de octubre de 2011 Núm. 240 Sec. I. pág. 104593.
- España.** Orden ARM/2444/2008, de 12 de agosto, por la que se aprueba el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación en cumplimiento de la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Boletín Oficial del Estado del 19 agosto 2008 núm. 200 pág. 34836.
- España.** Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Boletín Oficial del Estado de 22 de septiembre de 2008 , núm. 229 Sec I, páginas 38472 a 38582.
- España.** Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano Boletín Oficial del Estado 45 de 21 de Febrero de 2003.
- España.** Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica Boletín Oficial del Estado del 7 julio 2007 num. 162, pág. 29361.
- España.** Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas Boletín Oficial del Estado del 8 diciembre 2007 núm. 294, pág. 50639.
- España.** Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. Boletín Oficial del Estado del 15 de julio de 2010 núm171 Sec. I, pág. 61954.
- España.** Real Decreto 378/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de las Illes Balears. Boletín Oficial del Estado núm. 96, de 21 abril 2001, Pag 14784.
- España.** Real Decreto 1329/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras Boletín Oficial del Estado. Núm. 223, de 15 de septiembre de 2012 Sec. III. Pág. 65256.
- España.** Real Decreto 1330/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate. Boletín Oficial del Estado Núm. 223, de 15 de septiembre de 2012 Sec. III. Pág. 65259.
- España.** Real Decreto 1331/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Boletín Oficial del Estado Núm. 223, de 15 de septiembre de 2012 Sec. III. Pág. 65262.
- España.** Real Decreto 1332/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO del 15 de septiembre de 2012. Sec. III. Pág. 65265.
- España.** Real Decreto 1219/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña. Boletín Oficial del Estado Núm. 228, de 22 de septiembre de 2011 Sec. I. Pág. 100207.
- Euripidou E and Murray V.** Public health impacts of floods and chemical contamination. J. Public Health. 2004; 26: 376-383.
- Even S, Mouchel J, Servais P, Flipo N, Poulin M, Blanc S, Chabanel M and Paffoni C.** Modelling the impacts of Combined Sewer Overflows on the river Seine water quality. Science of the Total Environment, 2007; 375: 140–151.

- Few R and Matthies F.** Flood Hazards and Health: Responding to Present and Future Risks. Earthscan, London, 2006. pp . 240.
- Gabastou JM, Pesantes C, Escalante S, Narvaez Y, Vela E, Garcia L, Zabala D and Yadon, ZE.** Characteristics of the cholera epidemic of 1998 in Ecuador during El Niño (in Spanish). *Rev. Panam. Salud Publ.* 2002; 12: 157-164.
- Geres D.** Analysis of the water demand management. Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Brno, 30 August–2 September 2004. CD-edition.
- Giorgi F, Bi X and Pal J.** Mean, interannual variability and trend in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios 2071–2100. *Clim. Dyn.*, 23, 2004. Doi:10.1007/s00382-004-0467-0.
- Greenough G, McGeehin M, Bernard SM, Trtanj J, Riad J, Engelberg D.** The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States. *Environ Health Perspect* . 2001; 109 (2):191–198.
- Guidry VT and Margolis LH.** Unequal respiratory health risk: using GIS to explore hurricane related flooding of schools in Eastern North Carolina. *Environ. Res.*, 2005; 98: 383-389.
- Helms M, Büchele B, Merkel U and Ihringer J.** Statistical analysis of the flood situation and assessment of the impact of diking measures along the Elbe (Labe) river. *J. Hydrol.* 2002; 267: 94–114.
- Hock R, Jansson P and Braun L.** Modelling the response of mountain glacier discharge to climate warming. *Global Change and Mountain Regions: A State of Knowledge Overview. Advances in Global Change Series*, U.M. Huber, M.A. Reasoner and H. Bugmann, Eds., Springer, Dordrecht. 2005; 243–252.
- Hooijer M, Klijn F, Pedrolí GBM and van Os A.G.** Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. *River Res. Appl.* 2004; 20: 343–357.
- Howe AD, Forster S, Morton S, Marshall R, Osborn KS, Wright P and Hunter PR.** Cryptosporidium oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerg. Infect. Dis.* 2002; 8: 619–624.
- Huisman J, Sharples J, Stroom J, Visser P, Kardinaal W, Verspagen J. & Sommeijer B.** Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology*, 2004; 85: 2960-2970.
- Hunter PR.** Climate change and waterborne and vectorborne disease. *J.Appl. Microbiol.* 2003; 94: 37-46.
- Iglesias A, Estrela T and Gallart F.** Impactos sobre los recursos hídricos. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático, J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 303–353. IPCC 2008. El cambio climático y el agua. Sección 8. Lagunas de conocimiento y temas de estudio sugeridos. Dirección de la Unidad Técnica de Apoyo del Grupo de trabajo II del IPCC Junio de 2008. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2005: 145-146.
- Iniesta N, Ríos JJ, Fernández MC, Barbado FJ.** Cambio Climático ¿Nuevas enfermedades para un nuevo clima?. *Rev Clin Esp.* 2009; 209(5):234-240.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. El cambio climático y el agua.

- IPCC.** Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Human Health. 2007.
- IPCC.** El cambio climático y el agua. Dirección de la Unidad Técnica de Apoyo del Grupo de trabajo II del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Junio de 2008.
- IPCC.** Climate Change and Water. IPCC Technical Paper IV. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds. IPCC Secretariat, Geneva, 2008. pp. 210.
- IPCC.** Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). Collaborative effort of IPCC Working Group I and Working Group II. 2011.
- IPCC.** Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012; 1-19.
- Jonkman SN and Kelman I.** An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*, 2005; 29: 75-97.
- Kabat P, Schulze RE, Hellmuth ME and Veraart JA, Eds.** Coping with Impacts of Climate Variability and Climate Change in Water Management: a Scoping Paper. DWC Report No. DWCSSO-01(2002), International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen. 2002.
- Kashyap A.** Water governance: learning by developing adaptive capacity to incorporate climate variability and change. *Water Sci. Technol.* 2004; 19(7): 141-146.
- Katsumata T, Hosea D, Wasito EB, Kohno S, Hara K, Soeparto P and Ranuh IG.** Cryptosporidiosis in Indonesia: a hospital-based study and a community-based survey. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1998; 59: 628-632.
- Kistemann T, Classen T, Koch C, Dagendorf F, Fischeder R, Gebel J, Vacata V and Exner M.** Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Appl. Environ. Microbiol.* 2002; 68(5):2188-2197.
- Kjellström E.** Recent and future signatures of climate change in Europe. *Ambio.* 2004; 23: 193-198.
- Knight CG, Raev I, and Staneva MP, Eds.** Drought in Bulgaria: A Contemporary Analog of Climate Change. Ashgate, Aldershot, Hampshire. 2004; pp .336.
- Kovats RS and Tirado C.** Climate, weather and enteric disease. *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*, B. Menne and K.L. Ebi, Eds., Springer, Darmstadt. 2006; 269-295.
- Kundzewicz, ZW, M. Radziejewski and Pińskwar I.** Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res.* 2006; 31: 51-58.
- Manuel J.** In Katrina's wake. *Environ Health Perspect.* 2006; 114:32-9.
- Martín A, Varela MC, Torres A, et-al.** Vigilancia epidemiológica de brotes de transmisión hídrica en España. 1999-2006. *Bol Epidemiol.* 2008; 16:25-36.
- Martínez-Urtaza J, Lozano-León A, Varela-PetJ, et al.** Environmental determinants of

- the occurrence distribution on *Vibrio parahaemolyticus* in the Rias of Galicia. Spain Appl Environ Microbiol. 2008; 74: 265-74.
- McLaughlin JC, DePaola A, Bopp CA, et-al.** Outbreak of *Vibrio parahaemolyticus* gastroenteritis associated with Alaskan oysters. N Engl J Med. 2005; 353:1463-70.
- Menne B and Bertollini R.** The health impacts of desertification and drought. Down to Earth, 2000. 14: 4-6.
- Miettinen I, Zacheus O, von Bonsdorff C and Vartiainen T.** Waterborne epidemics in Finland in 1998–1999. Water Sci. Technol. 2001; 43: 67–71.
- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM).** Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Marco para la coordinación entre las administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente; 2006.
- MIMAM.** Libro Blanco del Agua en España. Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 1998.
- MIMAM.** Libro Blanco del Agua en España. Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 2000.
- Moreno JM , Aguiló E, Alonso S, Álvarez Cobelas M, Anadón R, Ballester F, Benito G, Catalán J, de Castro M, Cendrero A, Corominas J, Díaz J, Díaz-Fierros F, Duarte CM, Esteban Talaya A, Estrada Peña A, Estrela T, Fariña AC, Fernández González F, Galante E, Gallart F, García de Jalón LD, Gil L, Gracia C, Iglesias A, Lapieza R, Loidi J, López Palomeque F, López-Vélez R, López Zafra JM, de Luis Calabuig E, Martín-Vide J, Meneu V, Mínguez Tudela MI, Montero G, Moreno J, Moreno Saiz JC, Nájera A, Peñuelas J, Piserra MT, Ramos MA, de la Rosa D, Ruiz Mantecón A, Sánchez-Arcilla A, Sánchez de Tembleque LJ, Valladares F, Vallejo VR, Zazo C.** A preliminary assessment of the impacts in Spain due to the effects of climate change. ECCE Project Final Report. Universidad de Castilla-La Mancha, Ministry of the Environment, Madrid. 2005; 741 pp.
- Olcina J.** Prevención de riesgos: cambio climático, sequías e inundaciones. (Panel científico-técnico de seguimiento de la política del agua). Zaragoza: Fundación Nueva Cultura del Agua. 2008; 240 p.
- Olmos S.** Vulnerability and adaptation to climate change: concepts, issues, assessment methods. Climate Change Knowledge Network Foundation Paper, Oslo. 2001; 20 pp.
- OMS** Cambio climático y salud. Nota descriptiva N° 266 Enero de 2010. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/index.html>.
- OMS/DFID.** Vision 2030: The resilience of water supply and sanitation in the face of climate change. 2009.
- Opopol N, Corobov R, Nicolenco A and Pantya V.** Climate change and potential impacts of its extreme manifestations on health. Curier Medical. 2003; 5: 6-9.
- Paerl HW and Huisman J.** Blooms like it hot. Science. 2008; 320, 5 872, 57–58.
- Pardue J, Moe W, McInnis D, Thibodeaux L, Valsaraj K, Maciasz E, van Heerden I, Korevec N and Yuan Q.** Chemical and microbiological parameters in New Orleans floodwater following Hurricane Katrina. Environ. Sci. Technol. 2005; 39: 8591-8599.
- Parry ML, Ed.** Assessment of potential effects and adaptations to climate change in Europe: The Europe Acacia Project. Report of concerted action of the environment programme of the Research Directorate General of the

- Commission of the European Communities, Jackson Environmental Institute, University of East Anglia, Norwich. 2000; pp. 320.
- PNUMA.** Evaluación Mundial sobre el Mercurio Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA Productos Químicos Ginebra, Suiza. 2002.
- Quesada A, Sanchis D, Carrasco D.** Cyanobacteria in Spanish reservoirs. How frequently are they toxic?. *Limnetica*. 2004; 23 (1-2): 109-118.
- Reacher M, McKenzie K, Lane C, Nichols T, Kedge I, Iverson A, Hepple P, Walter T, Laxton C and Simpson J.** Health impacts of flooding in Lewes: a comparison of reported gastrointestinal and other illness and mental health in flooded and non flooded households. *Communicable Disease and Public Health*. 2004; 7: 1-8.
- Reynolds CS.** Ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press. 2006.
- Sant'Anna BS, Zangrande CM & Reigada ALD.** Utilization of shells of the snail *Achatina fulica* Bowdich, 1822 (Mollusca, Gastropoda) by the hermit crab *Clibanarius vittatus* (Bosc, 1802) (Decapoda, Anomura) in the São Vicente Estuary, São Paulo, Brazil. *Investigaciones Marinas*. 2005; 33(2): 217-219.
- Santos FD, Forbes K and Moita R, Eds.** Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM Project Report, Grádiva, Lisbon. 2002; 456 pp.
- Schijven JF and de Roda Husman AM.** Effect of climate changes on waterborne disease in the Netherlands. *Water Sci. Technol.* 2005; 51: 79-87.
- Schröter D, Cramer W, Leemans R, Prentice IC, Araujo MB, Arnell NW, Bondeau A, Bugmann H, Carter TR, Gracia CA, de la Vega-Leinert AC, Erhard M, Ewert F, Glendinning M, House JI, Kankaanpää S, Klein RJT, Lavorel S, Lindner M, Metzger MJ, Meyer J, Mitchell TD, Reginster I, Rounsevell M, Sabate S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Sykes MT, Thonicke K, Thuiller W, Tuck G, Sonke Zaehle, Barbel Z.** Ecosystem Service Supply and Vulnerability to global change in Europe. *Science*. 2005; 310: 1333-1337.
- Senhorst HA and Zwolsman JJ.** Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water Sci. Technol.* 2005; 51: 53-59.
- Silander J, Vehviläinen B, Niemi J, Arosilta A, Dubrovin T, Jormola J, Keskisarja V, Keto A, Lepistö A, Mäkinen R, Ollila M, Pajula H, Pitkänen H, Sammalkorpi I, Suomalainen M and Veijalainen N.** Climate Change Adaptation for Hydrology and Water Resources. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeographs. 2006; 336, Helsinki, 54 pp.
- Somlyódy L.** Strategic Issues of the Hungarian Water Resources Management. Academy of Science of Hungary, Budapest. 2002; 402 pp (in Hungarian).
- Steenvoorden J and Endreny T.** Wastewater Re-use and Groundwater Quality. IAHS Publication. 2004; 285: 112.
- Sur D, Dutta P, Nair GB and Bhattacharya SK.** Severe cholera outbreak following floods in a northern district of West Bengal. *Indian J. Med. Res.* 2000; 112: 178-182
- Tirado MC.** Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010. *Gac Sanit.* 2010; 24 (1):78-84.
- Unión Europea.** Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:ES:NOT>.

- Unión Europea.** Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:ES:PDF>.
- Unión Europea.** Best practices on flood prevention, protection and mitigation. 2004. http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/pdf/flooding_bestpractice.pdf.
- Umlauf G, Bidoglio G, Christoph E, Kampheus J, Krüger F, Landmann D, Schulz AJ, Schwartz R, Severin K, Stachel B, Dorit S.** The situation of PCDD/Fs and Dioxin-like PCBs after the flooding of river Elbe and Mulde in 2002. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 2005; 33 5: 543–554.
- Vollaard AM, Ali S, van Asten HAGH, Widjaja S, Visser LG, Surjadi C and van Dissel JT.** Risk factors for typhoid and paratyphoid fever in Jakarta, Indonesia. *J. Am. Med. Assoc.* 2004; 291: 2607-2615.
- Wade TJ, Sandhu SK, Levy D, Lee S, LeChevallier MW, Katz L and Colford JM.** Did a severe flood in the Midwest cause an increase in the incidence of gastrointestinal symptoms? *Am. J. Epidemiol.* 2004; 159: 398-405.
- Werritty A.** Living with uncertainty: climate change, river flow and water resources management in Scotland. *Sci. Total Environ.* 2001; 294:29–40.
- WHO.** Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Edited by Ingrid Chorus and Jamie Bartram. 1999. http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxcyanbegin.pdf.
- WHO.** Guías para la calidad del agua potable de la OMS. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/dwqtraining/es/.
- WHO-UNICEF.** Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/globalassess/en/.
- WHO and Health Protection Agency (Public Health England).** Floods: Health effects and prevention in the WHO European Region. 2013. Pag 13. <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/floods-in-the-who-european-region-health-effects-and-their-prevention>.
- Whitehead PG, Wade AJ and Butterfield D.** Potential impacts of climate change on water quality and ecology in six UK rivers *Hydrology Research.* 2009; 40(2–3): 113–122.
- Woodruff RE and Co-authors.** Predicting Ross River virus epidemics from regional weather data. *Epidemiology.* 2002; 13: 384–393.
- Young S, Balluz L and Malilay J.** Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review. *Sci. Total Environ.* 2004; 322: 3-20.
- Zierl B and Bugmann H.** Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resour. Res.* 2005; 41(2): 1–13.



5. III

Calidad del aire

Autores:

Ballester Díez, Ferrán

Universitat de València

Centro Superior de Investigación en Salud Pública (CSISP-FISABIO)

CIBERESP

Cárdaba Arranz, Mario

Gerencia Regional de Salud de Castilla y León (SACYL)

Dirección General de Asistencia Sanitaria

Dirección Técnica de Atención Especializada

Servicio de Cartera y Nuevas Tecnologías

Díaz Jiménez, Julio

Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III

Ministerio de Economía y Competitividad

Feo Brito, Francisco

Hospital General Universitario de Ciudad Real

Consejería de Sanidad y Asuntos Sociales, Castilla la Mancha

Galán Soldevilla, Carmen

Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal

Universidad de Córdoba

García Dos Santos-Alves, Saúl

Centro Nacional de Sanidad Ambiental. Instituto de Salud Carlos III

Ministerio de Economía y Competitividad

Guillén Pérez, José Jesús

Servicio de Salud Pública del Área de Salud en Cartagena

Región de Murcia

Linares Gil, Cristina

Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III

Ministerio de Economía y Competitividad

López Villarrubia, Elena

Unidad de Salud Ambiental. Dirección General de Salud Pública

Gobierno de Canarias

Martínez González Cristina
Hospital Universitario Central de Asturias
Facultad de Medicina. Universidad de Oviedo

Soriano Ortíz, Cecilia
Departamento de Física e Ingeniería Nuclear
Universidad Politécnica de Cataluña

Soriano Ortiz, Joan B.
Fundación Caubet-Cimera
Islas Baleares

Tobías Garcés, Aurelio
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ministerio de Economía y Competitividad

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

1. Introducción	125
2. Contaminación atmosférica y salud	127
2.1. Contaminantes atmosféricos: Fuentes y efectos en salud	127
2.1.1. Partículas en Suspensión: PM _{2.5} y PM ₁₀	128
2.1.2. Ozono troposférico	132
2.1.3. Óxidos de nitrógeno (NO _x) y Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	134
2.1.4. Dióxido de azufre (SO ₂).....	134
2.1.5. Aeroalérgenos.....	135
2.1.6. Otros compuestos.....	137
2.2. Exposición a contaminantes	138
2.2.1. Medida de la exposición	138
2.2.2. Valores de referencia para exposición humana	139
2.2.3. Exposición humana	143
3. Impactos previsibles del cambio climático.....	147
3.1. Impactos del cambio climático en la contaminación	147
3.2. Estacionalidad e influencia de las condiciones meteorológicas en la emisión, transporte y formación de los contaminantes atmosféricos	149
3.3. Factores modificadores del impacto de las variaciones del clima y la contaminación atmosférica	152
3.4. Influencia de las condiciones meteorológicas en la producción y liberación de polen y esporas.....	152
4. Población vulnerable	153
5. Repercusiones sobre otros sectores	157
6. Principales opciones adaptativas	159
7. Principales incertidumbres y desconocimientos	161
8. Detección del cambio.....	162
8.1. Contaminación atmosférica, salud y cambio climático	162
8.2. Conocimientos, actitudes y prácticas	163
9. Implicaciones para las políticas	165
10. Principales necesidades de investigación	168

11. Anexo 1.....	171
12. Bibliografía	173

1. Introducción

El aire limpio es un requisito básico para la salud y el bienestar humano. Por ello, su contaminación representa una amenaza importante para la salud de la población, tanto en España como en el mundo.

El aire ambiente se define (Real Decreto 102/2011, de 28 de enero) como el aire exterior de la baja troposfera incluyendo el aire interior y excluyendo el de los lugares de trabajo. Además, en la calidad del aire exterior se debe considerar de modo particular el transporte atmosférico de contaminantes de largo y corto recorrido a partir de fuentes de emisión lejanas o cercanas respectivamente a la zona donde se realiza la evaluación de la calidad del aire.

Por contaminación atmosférica (Ley 34/2007 de 15 de noviembre) se entiende la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. De hecho la contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de 2 millones de muertes prematuras al año en todo el mundo. Aunque para la OMS (Prüss-Üstün y Corvalán 2006) el principal riesgo de la contaminación atmosférica se produce por la exposición a contaminantes de ambientes interiores en edificios mal ventilados de países en vías de desarrollo, sin embargo, en países desarrollados, o en aquellos con grandes desarrollos urbanos caracterizados por una alta densidad de población, importantes sectores de la población se encuentran expuestos a concentraciones elevadas de contaminantes atmosféricos con las consiguientes repercusiones negativas sobre su salud (OMS 2000).

En el campo de la salud pública la contaminación atmosférica es un fenómeno tradicionalmente conocido y estudiado, que cobra gran importancia en el mundo contemporáneo a partir de una serie de episodios que tuvieron lugar en los países industrializados durante la primera mitad del siglo XX (Bell y Davis 2001). La OMS hace años que considera la contaminación atmosférica una de las prioridades mundiales en salud (OMS 2006) estimando que puede causar 1,3 millones de fallecimientos anuales en el mundo (OMS 2011). Sin embargo, otros autores han estimado que la contaminación atmosférica es responsable del 1,4% de todas las muertes mundiales (Cohen et al. 2004; Ezzati et al. 2004). De hecho, recientemente la actualización del “*Global Burden of Disease*” del año 2010 (Lim et al. 2012), ha revisado estas cifras alcanzando a más de 3,2 millones de muertes al año. Por otro lado, los efectos del ozono ambiental la hacen responsable de provocar más de 152 mil muertes en el mundo.

En España son atribuibles según este estudio, 13.915 muertes a los efectos de material particulado o partículas en suspensión (PM por sus siglas en inglés) y 947 a ozono, algo que si lo comparamos con las muertes atribuibles a los efectos del tabaco (55.591) o niveles altos de colesterol (19.869) se traducen en un número cuatro veces inferior que por efecto del tabaco o prácticamente el mismo número de muertes que las producidas por niveles altos de colesterol.

Así mismo, este estudio ha cuantificado la proporción de DALYs (Disability Adjusted Life Years) en determinadas enfermedades según factores de riesgo (*tabla 15*). Como ejemplo, la contaminación atmosférica produce alrededor del 15 % de los DALYs en el caso de la enfermedad isquémica en España en 2010, y un 4% en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

Tabla 15. Proporción de DALYs (Disability Adjusted Life Years) en determinados grupos de enfermedades

	Ozono	Contaminación PM	Niveles altos de colesterol	Tabaco
Enfermedades isquémicas	-	15,1	36,96	27,37
Enfermedades cerebrovasculares	-	11,24	4,12	20,79
Enfermedades pulmonares	-	6,51	-	82,29
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	3,18	4,29	-	57,49

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de documento GBD 2010: design, definitions, and metrics (Lim et al. 2012)

Recientes estudios realizados en España abordan la mortalidad atribuible y mortalidad evitable para la contaminación atmosférica. Según datos publicados por el Proyecto Sistema de Evaluación de Riesgos por Contaminación Atmosférica (proyecto SERCA) en España, si la exposición a largo plazo a las concentraciones de PM_{2.5} del aire se redujera un promedio de 0,7 µg/m³, estimada por el modelo Community Multiscale Air Quality (CMAQ), asumiendo el riesgo propuesto por Pope et al. 2002 y Laden et al. 2006, las muertes evitables a largo plazo oscilarían entre 1.450-1.720 en la población adulta (tabla 16).

Esta cifra se correspondería con una tasa bruta de 5 ó 6 muertes por cada 100.000 habitantes, y supondría en torno al 0,5% del número total de muertes en esta población y al 1,25% del número total de muertes dentro del rango de edad de 25 y 74 años (SERCA 2012).

La contaminación atmosférica incide en la aparición y agravamiento de enfermedades de

tipo respiratorio, cardiovasculares y cánceres. En los adultos hay tres enfermedades respiratorias relacionadas con la contaminación atmosférica epidemiológicamente importantes: el asma, cuya prevalencia está aumentando en todo el mundo, salvo en los países anglosajones donde se observa un estancamiento (plateuing) o incluso un descenso; EPOC, que paradójicamente parece disminuir tanto en fumadores como en no fumadores; y el cáncer de pulmón (Ole Raaschou-Nielsen et al. 2013). De hecho, el descenso global de indicadores de EPOC en 2010 es debido a una reducción de impactos ambientales como consumo de biomasa en India y China, aunque se haya incrementado la exposición acumulada al tabaco en la población (Murray CJ et al. 2013).

A partir del conocimiento sobre la calidad del aire y sus efectos, en los últimos años se ha introducido una legislación ambiental que a partir de las correspondientes Directivas Comunitarias de calidad del aire, traspuestas a

Tabla 16. Resultados de la evaluación de impacto en salud en términos de reducción potencial en el número de muertes atribuibles y tasas por 100.000 habitantes

Indicador de exposición	Indicador de salud	Población en riesgo (grupo de edad)	Función concentración -respuesta	Nº total de muertes	Nº de muertes evitables (percentil 50)	Rango de muertes evitables (percentiles 5-95)	Nº de muertes evitables por 100.000 habitantes
PM _{2.5} a largo plazo	Todas las causas de mortalidad	27.327.894 (30-99 años)	Pope et al. 2002	355.761	1.720	673-2.760	6
		27.581.475 (25-74 años)	Laden et al. 2006	155.951	1.450	780-2.108	5

Fuente: Proyecto "Sistema de Evaluación de Riesgos por Contaminación Atmosférica (SERCA) 2012"

la legislación española ambiental, ha permitido la paulatina reducción de las concentraciones máximas en el aire (efectos agudos) para la mayoría de los contaminantes regulados (Guerreiro et al. 2012).

No obstante, en la actualidad, el problema se ha desviado a los efectos debidos a la exposición de la población a bajas concentraciones de contaminantes pero durante un largo periodo de tiempo (exposición crónica).

Sería importante, además, realizar más estudios sobre los sinergismos o antagonismos de los contaminantes atmosféricos en cuanto a sus efectos sobre la salud, pues la mayoría de las investigaciones epidemiológicas se refieren habitualmente a un contaminante en particular y en algunos casos a dos. También existen trabajos en los que se consideran no solo los contaminantes atmosféricos urbanos sino también otros factores medioambientales potencialmente contaminantes como el ruido, y variables meteorológicas (Díaz et al. 1999; Linares et al. 2006; Maté et al. 2010).

2. Contaminación atmosférica y salud

La OMS, basando sus recomendaciones en hallazgos fundamentales en materia de calidad del aire, indica en su última guía (OMS 2006) que existen graves riesgos para la salud derivados de la exposición a partículas en suspensión (PM) y al ozono (O₃), entre otros contaminantes, y cuyas concentraciones pueden aumentar con el cambio climático. Es posible establecer una relación cuantitativa entre los niveles de contaminación y su efecto en la salud, en particular un aumento de la mortalidad o la morbilidad. En ocasiones, incluso bajas concentraciones de contaminantes atmosféricos han llegado a provocar efectos adversos para la salud.

La OMS afirma que puede lograrse una considerable reducción de la exposición a la contaminación atmosférica si se reducen las emisiones debidas a la quema de combusti-

bles fósiles. Las medidas adoptadas para este fin reducirán también los gases de efecto invernadero (GEI) y contribuirán a mitigar el calentamiento global. La reducción de la quema de carbón y la introducción de “escrubers” (dispositivos de control de la contaminación del aire que pueden ser utilizados para eliminar algunas partículas y / o gases industriales) ha originado ya la disminución de los niveles de dióxido de azufre (SO₂) y por extensión de partículas (humo negro), con este origen.

Según el último informe de la EEA en esta materia (Guerreiro et al. 2012), los efectos principales de la contaminación en la salud se producen por exposición directa, ya sea por inhalación o por ingesta de aquellos contaminantes que son transportados en el aire, depositados y acumulados en la cadena alimentaria. Además, pueden afectar a la salud de modo indirecto, por una parte por el efecto en la acidificación y eutrofización de ecosistemas terrestres y acuáticos, que afectan a la agricultura, los bosques y la biodiversidad de flora y fauna, y por otra parte por la toxicidad medioambiental, debida a bioacumulación de los metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes.

El estudio de los efectos sobre la salud de la contaminación ambiental es complicado entre otras razones por la dificultad en la medida de la exposición, el tiempo de latencia de la enfermedad y porque la contaminación no suele deberse a un solo componente sino que habitualmente es mixta.

2.1. Contaminantes atmosféricos: Fuentes y efectos en salud

Los principales contaminantes atmosféricos se clasifican en primarios y secundarios, siendo los primeros aquellos que se emiten de modo directo a la atmósfera y los segundos los resultantes de reacciones físicas o químicas en la atmósfera. Los primarios proceden directamente de la fuente de

emisión y son óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), aerosoles, hidrocarburos, halógenos y sus derivados (Cl_2 , HF, HCl, haluros), arsénico y sus derivados, ciertos componentes orgánicos, metales pesados (Pb, Hg, Cu, Zn,...) y partículas minerales (asbesto y amianto).

Los contaminantes secundarios se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y físicas, muchas veces mediadas por la radiación solar (fotoquímicas), que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera. Estos contaminantes son el ozono troposférico (O_3), sulfatos, nitratos, aldehídos, cetonas, ácidos, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales libres.

Un caso particular es el de la atmósfera de zonas urbanas, donde las principales emisiones provienen de fuentes móviles (tráfico rodado) y de fuentes fijas de combustión (industrias, calefacción y procesos de eliminación de residuos). Además, las zonas urbanas se caracterizan por una relativamente pequeña resolución espacial, caracterizada por una alta densidad de edificaciones (y habitantes) y con un incremento de la temperatura ambiente con respecto a las zonas periféricas de las mismas. Este hecho implica la formación de capas de inversión caracterizadas por impedir la adecuada ventilación de la zona urbana afectada (EEA 2012). Consecuentemente, es en los entornos urbanos donde habitualmente se produce la acumulación de contaminantes atmosféricos de forma que las concentraciones de los mismos superan los valores límites (VL) establecidos y por tanto provocan efectos sobre la salud (Guerreiro et al. 2012). De este comportamiento se desvía el O_3 cuyas mayores concentraciones se determinan en zonas suburbanas y rurales habida cuenta de su formación fotoquímica secundaria a partir de compuestos primarios (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles) (Guerreiro et al. 2012).

En Europa, los principales contaminantes atmosféricos de origen antropogénico son

las partículas en suspensión tanto torácicas (PM_{10}) como respirables ($\text{PM}_{2,5}$), el dióxido de nitrógeno y el O_3 , en este último caso a partir de las emisiones de precursores y posterior reacción fotoquímica.

Las características de los principales contaminantes químicos y sus fuentes más importantes se resumen en la *tabla 17*.

Entre los contaminantes más problemáticos para la salud destacan las partículas en suspensión (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el O_3 y el dióxido de azufre (SO_2). En particular, las partículas $\text{PM}_{2,5}$ y las presentes principalmente en ambientes interiores, se considera que son las que a nivel global conllevan más carga de enfermedad (Murray et al. 2013).

La *figura 16* muestra un total de 25 enfermedades, lesiones y factores de riesgo debido a que algunos de los mayores contribuyentes a los DALYs no estaban entre los diez primeros para el análisis de las muertes, y viceversa.

Hay que señalar que la mezcla e interacción de los contaminantes entre sí puede provocar un factor coadyuvante entre los mismos, dificultando la caracterización individual de sus efectos sobre la salud.

2.1.1 Partículas en suspensión: $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10}

El término material particular hace referencia a una mezcla de partículas, sólidas y líquidas, en suspensión en el aire (comúnmente conocidas como aerosoles). Las PM en ambientes urbanos y no urbanos son una mezcla compleja de componentes con características químicas y físicas diversas y con una naturaleza dinámica. La investigación sobre las partículas y la interpretación de los resultados es compleja debido a esta heterogeneidad.

La posibilidad de que estas partículas provoquen efectos en la salud humana varía con el tamaño, características físico-químicas y su composición química (Querol et al. 2004).

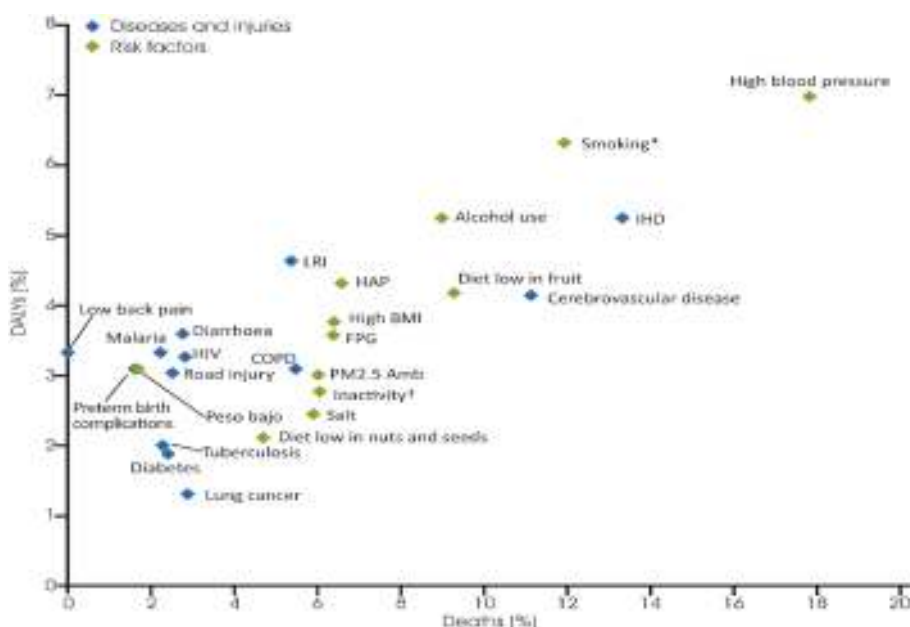
Tabla 17. Contaminantes químicos y sus fuentes

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de nitrógeno (NO ₂): NO _x : Óxido de nitrógeno	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Humo de tabaco Combustiones en interiores
Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo de tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y compuestos orgánicos volátiles)

PM₁₀: Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm

Fuente: Ballester 2005, adaptado por Ballester 2013

Figura 16. Comparación de la magnitud de las diez principales enfermedades y lesiones, y los diez principales factores de riesgo en función del porcentaje de muertes en el mundo y el porcentaje de DALYs, 2010



Fuente: Tomado de Lim et al. 2012

DALYs: Años de vida ajustados por discapacidad. IHD: enfermedad isquémica del corazón. LRI: infecciones respiratorias inferiores. COPD: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). HAP: contaminación del aire doméstico por combustibles sólidos. BMI: índice de masa corporal. FPG: glucosa plasmática en ayunas. PM_{2.5} Amb = ambiente contaminado por material particulado.

* Consumo de tabaco, incluido fumadores pasivos

† Inactividad física y escasa actividad física

En términos generales, se ha informado que las partículas pueden provocar problemas de salud (enfermedades respiratorias, inmunológicas, etc.) y muerte prematura.

La clasificación más común de las partículas es la que se refiere a su fraccionamiento por tamaños (UNE 1997), que repercute en sus características aerodinámicas, sujetas a los procesos de transporte y depósito (seca y/o húmeda) en el aire ambiente. De acuerdo a su tamaño las partículas se diferencian en:

- PM_{10} (Torácicas): aquellas partículas cuyo diámetro aerodinámico es $\leq 10 \mu\text{m}$. Estas partículas pueden pasar la barrera faríngea alcanzando las vías altas respiratorias y los bronquios.
- $PM_{2.5}$ (Respirables): partículas cuyo diámetro aerodinámico es $\leq 2,5 \mu\text{m}$. Al igual que las anteriores pueden pasar la barrera faríngea, con la posibilidad de penetrar más profundamente en el pulmón, alcanzando bronquiolos y alveolos pulmonares. Una vez allí la probabilidad de su depósito depende de factores como edad, estado fisiológico del pulmón, prevalencia de ciertas enfermedades obstructivas, hábitos, etc. Al interactuar con el tejido pulmonar se puede producir irritación o lesión.
- PM_1 : partículas cuyo diámetro aerodinámico es $\leq 1 \mu\text{m}$. Algunas de estas partículas pueden penetrar hasta las zonas de intercambio de gases pulmonares y las partículas ultra finas (menores de 100 nm) alcanzan al torrente circulatorio.

El rango de las partículas finas es el que presenta los efectos más adversos sobre la salud y corresponde principalmente a las partículas de origen antropogénico. Los efectos en mortalidad se suelen asociar con las partículas $PM_{2.5}$. En Europa, esta fracción representa entre el 40-80% de la concentra-

ción de PM_{10} . Por ello, la tendencia actual es definir nuevas fracciones de partículas e incluirlas en la legislación europea de calidad del aire.

Las partículas se emiten directamente a la atmósfera, o se forman en ella por oxidación y transformación de emisiones gaseosas primarias. Sus precursores más importantes son SO_2 , NO_x , NH_3 y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Estos precursores reaccionan en la atmósfera generando aerosoles inorgánicos (amonio, sulfatos y nitratos) u orgánicos. Al determinar la composición de los aerosoles, los componentes químicos suponen en torno al 70% de su masa, tanto para PM_{10} como para $PM_{2.5}$ (Querol et al. 2004).

El origen de PM puede ser biogénico (natural) como la sal marina, polvo resuspendido por acción eólica, granos de polen o esporas, y cenizas volcánicas o antropogénico, emitido fundamentalmente por la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, incineración, calefacción doméstica y por vehículos (especialmente los de motor diésel) (Krzyzanowski et al. 2005).

Los estudios epidemiológicos realizados en varias ciudades muestran que la exposición a corto plazo a $PM_{2.5}$ tiene efectos sobre la mortalidad y la morbilidad, del mismo modo que estudios llevados a cabo en grandes cohortes en Europa y América del Norte asocian los efectos de la exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$ con aumentos en la mortalidad y la morbilidad.

Por otro lado el análisis de la evidencia realizado por cardiólogos, epidemiólogos, toxicólogos y otros expertos en salud pública, sobre los efectos a una exposición a largo plazo de $PM_{2.5}$ llevó a la conclusión de que estas partículas constituyen una causa tanto de mortalidad como de morbilidad cardiovascular (Brook et al. 2004; Brook et al. 2010). Estudios realizados en Madrid establecen una relación entre

los niveles de $PM_{2.5}$ con la mortalidad diaria por causas circulatorias (Jiménez et al. 2009; Maté et al. 2010).

Otros estudios epidemiológicos, clínicos y toxicológicos han permitido adquirir un mayor conocimiento sobre los efectos fisiológicos y sobre los posibles mecanismos biológicos que vinculan la exposición a corto y a largo plazo a $PM_{2.5}$ con la mortalidad y la morbilidad.

Otros trabajos vinculan la exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$ con aterosclerosis, resultados adversos en el nacimiento y enfermedad respiratoria en la infancia. Nuevas evidencias sugieren la existencia de posibles vínculos entre la exposición prolongada a $PM_{2.5}$ y el desarrollo neurológico y la función cognitiva (Andrea et al. 2013), así como otras enfermedades crónicas como la diabetes.

La exposición crónica a PM contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias así como de cáncer de pulmón. Los estudios sobre el efecto a largo plazo de la exposición a PM han estimado una reducción en la esperanza de vida en un periodo que oscila entre varios meses y dos años (OMS 2013). Según un estudio de la Comisión Europea (CE), la presencia de estas partículas en la atmósfera produce cada año 288.000 muertes prematuras en consonancia con otro estudio de la OMS que afirmaba que la exposición a PM causaba la muerte prematura de 13.000 niños de entre uno y cuatro años de edad, cada año (OMS 2011).

Trabajos realizados en nuestro país señalan que este tipo de contaminación (Linares y Díaz 2009; Guaita et al. 2011), y particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado con incrementos en la morbi-mortalidad de la población expuesta y con un aumento de problemas respiratorios como asma o alergias en la población infantil (Sunyer 2011). Se establece asimismo una correlación entre ingresos hospitalarios

y niveles de $PM_{2.5}$, de modo que ante una mayor exposición o concentración de partículas, mayor es el número de ingresos (Linares y Díaz 2010). En el reciente estudio realizado en el proyecto “Tamaño y composición de las partículas en los países mediterráneos: variabilidad geográfica y efectos a corto plazo sobre la salud” (proyecto MED-PARTICLES) los resultados señalan una asociación positiva entre $PM_{2.5}$ y $PM_{2.5-10}$ ¹ con ingresos por causas cardiovasculares y respiratorias en 8 ciudades mediterráneas. (Stafoggia et al. 2013). Este proyecto analiza también el impacto de las partículas sobre la mortalidad diaria (Samoli et al. 2013).

La mortalidad en ciudades con niveles elevados de contaminación supera entre un 15 % - 20 % la registrada en ciudades más limpias. Incluso en la UE, la esperanza de vida promedio es 8,6 meses inferior debido a la exposición a $PM_{2.5}$ generadas por actividades humanas. Aunque se puede ver afectada toda la población, la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. El riesgo de diversos efectos adversos aumenta con la exposición (OMS 2011).

1 Fracción $PM_{2.5-10}$ es decir tamaño $\geq 2,5 \leq 10$

En la *tabla 18* se recogen los efectos sobre la salud de las PM, así como de otros contaminantes. No obstante como se ha

mencionado anteriormente se debe tener también en cuenta la composición de las PM por sus potenciales efectos sobre la salud.

Tabla 18. Efectos sobre la salud de la contaminación en función del tiempo de exposición contaminación atmosférica

Sustancia		Exposición	
		Corta	Larga
Partículas	PM ₁₀	Mortalidad; morbilidad; efectos adversos para la salud respiratoria y cardiovascular; mortalidad prematura; incremento de ingresos hospitalarios; EPOC; asma; todas las enfermedades respiratorias; enfermedades cardiorespiratorias	Mortalidad; morbilidad; enfermedades respiratorias
	PM _{2,5}	Mortalidad y morbilidad	Mortalidad; morbilidad; mortalidad y morbilidad cardiovascular; efectos psicológicos y mecanismos biológicos plausibles con mortalidad y morbilidad; aterosclerosis, resultados adversos en el nacimiento, enfermedades respiratorias en la infancia, neurodesarrollo y funciones cognitivas; diabetes; bronquitis; cáncer de pulmón
	Partículas ultrafinas	Enfermedades cardiorespiratorias, y del sistema nervioso central	-
	Carbón negro	Efectos sobre la salud a nivel cardiovascular, mortalidad prematura	Efectos sobre la salud a nivel cardiovascular, mortalidad prematura
Ozono	Mortalidad; morbilidad; mortalidad y morbilidad respiratoria y cardiovascular; trastornos pulmonares y vasculares; mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias; ingresos hospitalarios por causas respiratorias y cardiovasculares	Mortalidad; mortalidad respiratoria y cardiorespiratoria, mortalidad en personas sensibles (enfermedad obstructiva pulmonar crónica, diabetes, insuficiencia cardíaca congestiva, infarto de miocardio); asma, lesiones crónicas y cambios estructurales en las vías respiratorias, trastornos en el desarrollo cognitivo, trastornos en la salud reproductiva, partos prematuros; mortalidad diaria; mortalidad por cardiopatías; agravamiento del asma, atención hospitalaria para el asma; desarrollo de la función pulmonar	
NO ₂	Mortalidad; morbilidad; inflamación e hiperreactividad de las vías respiratorias, cambios estructurales en células pulmonares	Mortalidad; morbilidad; mortalidad y morbilidad respiratoria y cardiovascular; trastornos respiratorios y de la función pulmonar en niños; ingresos hospitalarios; síntomas respiratorios; susceptibilidad a infección respiratoria	
Otras partículas como arsénico, cadmio, mercurio, plomo y níquel	Existen evidencias de daños para la salud; efectos sobre el sistema nervioso central en niños y sobre el sistema cardiovascular en adultos (plomo)	Existen evidencias de daños para la salud; efectos sobre el sistema nervioso central en niños y sobre el sistema cardiovascular en adultos (plomo)	

Fuente: Elaboración propia en base al informe "Review of evidence on health aspects of air pollution REVIHAAP". WHO 2013

2.1.2. Ozono troposférico

El ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera sino que se forma por una cadena de reacciones fotoquímicas a partir de gases precursores, como el CO, COV, NO_x y la radiación solar. Se trata, por tanto, de un contaminante secundario.

La química de la formación y descomposición del ozono es compleja. El NO₂ puede absorber la luz solar y disociarse en un átomo de oxígeno (O) y monóxido de nitrógeno (NO). Este átomo reacciona rápidamente con el oxígeno molecular (O₂) y forma el O₃. Por otro lado, el NO que es emitido fundamentalmente por procesos de combustión (en ciudades se emite principalmente por el tráfico), reacciona rápidamente con el ozono en el aire y forma NO₂ y O₂, contribuyendo por tanto a la eliminación del ozono.

Este mecanismo describe el equilibrio atmosférico en ausencia de otros gases, no explicando la presencia de niveles de ozono elevados tanto en zonas suburbanas como rurales. Sin embargo, al tener en cuenta la presencia de COV en el aire ambiente, y del radical hidroxilo que provoca que éstos se degraden y produzcan compuestos que reaccionan con NO para formar NO₂ sin consumir ozono, el resultado neto de estas reacciones es la formación de una molécula de ozono por cada molécula de COV que se degrada. Esta contaminación aparece principalmente en los periodos primavera-verano, donde a un mayor periodo de insolación se añade un incremento en las emisiones y difusión de los COV, tanto de origen natural (vegetación) como antropogénico. Por otro lado, este contaminante es mucho mayor en zonas rurales y suburbanas que en las urbanas donde, además de la falta de emisiones biogénicas, no se cuenta con el suficiente NO disponible para reaccionar con ozono.

Diferentes estudios asocian la exposición a corto plazo con mortalidad y morbilidad

respiratoria. Así, desde 2005 varios análisis de cohorte han concluido sobre la asociación de la exposición al O₃ a largo plazo y la mortalidad, la mortalidad respiratoria y la cardiorespiratoria, aunque los resultados para esta última son menos concluyentes. En España se han realizado estudios que relacionan el O₃ con morbilidad por causas cardiovasculares (Díaz et al. 1999).

También hay evidencias sobre el efecto en la mortalidad entre las personas con condiciones potencialmente predisponentes como EPOC, la diabetes, la insuficiencia cardíaca congestiva y el infarto de miocardio. Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de 10 µg/m³ en la concentración de O₃ (OMS 2011).

Nuevos estudios sobre la exposición a largo plazo han reportado efectos adversos en la incidencia de asma, el agravamiento del mismo, la atención hospitalaria para el asma y el desarrollo de la función pulmonar.

Desde el año 2005 se han publicado evidencias sobre los efectos adversos de la exposición a corto plazo a O₃ procedentes de estudios multicéntricos de series temporales en Europa, EE.UU. y Asia. En Europa se ha asociado la exposición a corto plazo a las concentraciones diarias de O₃ (máximo de 1 a 8 horas media) con mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias así como a los ingresos hospitalarios por causas respiratorias y cardiovasculares.

En revisiones de datos toxicológicos los resultados de algunos estudios apuntan a que la exposición al O₃ puede incrementar el trabajo del miocardio y alterar el intercambio de gases en los pulmones, lo cual podría tener importancia clínica en personas con daño cardiovascular persistente, con o sin enfermedad pulmonar concomitante (Ballester y Boldo 2010).

Nuevos estudios además sugieren un efecto de la exposición al O_3 en el desarrollo cognitivo y la salud reproductiva, incluyendo el nacimiento prematuro (OMS 2013).

Por otro lado, existen evidencias de que los individuos especialmente jóvenes, con hiperreactividad de vías aéreas, como es el caso del asma constituyen un grupo más sensible a los efectos del O_3 .

Se calcula que cada año en Europa se producen 21.000 ingresos hospitalarios relacionados con la exposición al ozono (Hurley et al. 2005).

Finalmente, la alteración de la capa de O_3 atmosférico puede producir un impacto sobre nuestra salud en forma de afecciones sobre la piel (López 2011).

2.1.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El término NO_x describe la suma de NO y NO_2 . Sus fuentes principales se encuentran en los procesos de combustión a temperatura elevada como las que ocurren en las plantas de energía y motores de automóviles.

Los NO_x juegan un papel importante en la formación del ozono, y contribuyen a la formación de Aerosoles Inorgánicos Secundarios (SIA), favoreciendo la concentración tanto de PM_{10} como de $PM_{2.5}$.

El gas reactivo NO_2 presente en el aire proviene en su mayor parte de la oxidación del NO , que constituye la mayor parte de las emisiones de NO_x . Entre un 5-10% del NO_2 se emite directamente a la atmósfera procedente de la mayoría de fuentes de combustión. Por otro lado también hay que destacar su importante papel como precursor de otros contaminantes como el O_3 troposférico y partículas $PM_{2.5}$ (EEA 2012).

El NO_2 se correlaciona con otros contaminantes como las PM , que dificulta la diferenciación de los efectos en salud de ambos. Dado que tanto $PM_{2.5}$ y NO_2 son contaminantes

procedentes del tráfico (Ballester et al. 2012) están altamente correlacionados y es difícil estimar sus efectos independientes.

Muchos estudios establecen asociaciones entre las variaciones diarias en la concentración de NO_2 y las variaciones en la mortalidad, ingresos hospitalarios, y síntomas respiratorios.

Los efectos principales en la salud humana tras una exposición de corto plazo a NO_2 son relativos a alteraciones en la función pulmonar particularmente en los grupos más susceptibles. Además, tras una exposición a largo plazo puede verse incrementada la susceptibilidad a infección respiratoria. Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada. También se han publicado estudios que asocian exposición a largo plazo al NO_2 con mortalidad y morbilidad.

2.1.4. Dióxido de azufre (SO_2)

La fuente antropogénica principal de emisión es la quema de combustibles fósiles y la fuente natural son los volcanes.

Es un precursor importante de las $PM_{2.5}$.

Su presencia en la atmósfera se ha visto reducida notablemente debido principalmente a la sustitución de los combustibles más contaminantes en las calderas de calefacción. No obstante existen zonas próximas a determinadas industrias, las centrales térmicas y de ciclo combinado, y las refinerías de petróleo donde las concentraciones son más elevadas.

El SO_2 puede afectar al sistema respiratorio provocando una disminución de la función respiratoria y favoreciendo el desarrollo de enfermedades como la bronquitis. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer

infecciones del sistema respiratorio. Provoca también irritación ocular.

Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más elevados. En combinación con el agua, el SO₂ se convierte en ácido sulfúrico, siendo el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación (OMS 2011).

2.1.5. Aeroalérgenos

El término incluye aquellos alérgenos que se encuentran en el aire durante un cierto periodo de tiempo, frente a los que el sistema inmune reacciona al reconocerlos como cuerpos extraños (antígenos). De ahí el interés despertado a lo largo del tiempo entre la comunidad científica hacia un conocimiento sobre el contenido de partículas biológicas en el aire, que puedan generar problemas de alergia.

Algunos organismos cambian de ubicación geográfica a lo largo de su ciclo de vida a través del transporte pasivo por el aire, como las bacterias, microalgas, hongos microscópicos, protozoos, algunos insectos y, en ciertos casos, los virus; otros organismos transportan sus estructuras de propagación, como las esporas de los hongos y de los musgos y helechos, o los granos de polen de las plantas superiores; a veces se encuentran en el aire fragmentos, tanto de origen fúngico como de origen animal o vegetal.

No todos estos componentes biológicos aéreos tienen que considerarse aeroalérgenos, o portadores de alérgenos, sino solo aquellos a los que nuestro sistema inmune considera cuerpos extraños. En el caso del polen los aeroalérgenos son precisamente proteínas de reconocimiento de las estructuras reproductoras femeninas entre otras, responsables de provocar casos de alergia. Estudios realizados en Munich sobre el polen aerovagante del abedul han puesto de manifiesto que la liberación de alérgenos por polen puede variar hasta 10 veces considerando polen de diferentes

árboles, diferentes zonas de estudio, diferentes años o diferentes periodos de estudio durante la floración de este árbol (Buters et al. 2010; Galán et al. 2013).

Las enfermedades alérgicas constituyen una de las patologías más prevalentes en nuestro medio, afectando en la actualidad aproximadamente al 25% de la población, y cuya frecuencia está aumentando en los últimos años en la mayoría de los países industrializados. En concreto, las enfermedades alérgicas de las vías respiratorias (rinitis y asma alérgicos) suponen un importante volumen de consultas médicas, tanto en Atención Primaria como Especializada. La polinosis, alergia polínica, es uno de los tipos más prevalente de alergia. Esta enfermedad ha aumentado considerablemente desde mediados del siglo XX, cuando afectaba solo al 1% de la población, hasta la actualidad cuando entre un 15-40% de la población en Europa sufre alergia y asma, dependiendo de la zona de estudio. Los brotes estacionales de polinosis generan un aumento del consumo de antihistamínicos.

La OMS estima que alrededor de 334 millones de personas sufren actualmente asma en el mundo (*tabla 19*) (Lim et al. 2012).

De acuerdo con la Federación Europea de Asociaciones de Pacientes con Alergia y Enfermedades Respiratorias (EFA), 80 millones de adultos (24,4%) que viven en Europa son alérgicos; la prevalencia en niños está entre 30-40% y actualmente se encuentra en aumento (Laatikainen et al. 2011; Rönmark et al. 2009). Varios estudios han puesto de manifiesto importantes diferencias entre países europeos, incluso entre países vecinos. Distintos patrones pueden deberse a una diferente exposición a contaminantes químicos y aerosoles. Esta co-exposición puede provocar diferencias en las características del polen expuesto a distintas situaciones de estrés, en cuanto al contenido de alérgenos (Shiraiwa et al. 2012). Por otro lado, el porcen-

Tabla 19. Prevalencia de enfermedades en el año 2011 a nivel mundial

	Prevalence (both sexes)		Male prevalence		Female prevalence	
	Total (thousands)	Proportion of population(%)	Total (thousands)	Proportion of population(%)	Total (thousands)	Proportion of population(%)
Dental caries in permanent teeth	2.431.636	35,29%	1.194.051	34,37%	1.237.585	36,23%
Tension-type headache	1.413.067	20,77%	655.937	18,88%	775.131	22,69%
Migraine	1.012.944	14,70%	371.072	10,68%	641.873	18,79%
Fungal skin diseases	985.457	14,30%	516.167	14,86%	469.291	13,74%
Other skin and subcutaneous diseases	803.597	11,66%	417.129	12,01%	386.468	11,32%
Chronic periodontitis	743.187	10,79%	378.407	10,89%	364.780	10,68%
Mild hearing loss with perinatal onset due to other hearing loss	724.689	10,52%	386.147	11,11%	338.543	9,91%
Acne vulgaris	646.488	9,38%	311.349	8,96%	335.140	9,81%
Low back pain	632.045	9,17%	334.793	9,64%	297.252	8,70%
Dental caries of baby teeth	621.507	9,02%	352.085	10,13%	269.421	7,89%
Moderate iron-deficiency anaemia	608.915	8,84%	269.596	7,76%	339.319	9,93%
Other musculoskeletal disorders	560.978	8,14%	262.779	7,56%	298.199	8,73%
Near sighted due to other visions loss	459.646	6,67%	235.052	6,77%	224.593	6,58%
Mild iron deficiency anaemia	375.438	5,45%	152.523	4,39%	222.915	6,53%
Asthma	334.247	4,85%	160.346	4,61%	173.901	5,09%
Neck pain	332.049	4,82%	135.134	3,89%	196.915	5,77%
Chronic obstructive pulmonary disease	328.615	4,77%	168.445	4,85%	160.170	4,69%
Genital prolapse	316.897	4,55%	316.897	9,28%
Major depressive disorder	299.441	4,33%	111.441	3,21%	187.000	5,48%
Pruritus	280.229	4,07%	117.758	3,39%	162.471	4,76%

Fuente: Lim et al. 2012

taje de población con atopia puede aumentar ante una mayor exposición a contaminantes químicos y aerosoles (D'Amato et al. 2010). En ocasiones, la exposición a polen aerovagante no es representativa de un determinado alérgeno mayoritario local (Galán et al. 2013), pudiendo detectar polen aerovagante y aeroalérgenos de poblaciones alejadas con un mayor o menor potencial alergógeno.

En la infancia predomina la alergia alimentaria y el eccema; el asma y la rinitis también se manifiestan en la edad adulta. Existen varios factores que pueden justificar el aumento de las enfermedades alérgicas, como son los factores genéticos, la contaminación, la dieta, etc. Se ha descrito en un número importante de artículos científicos que las

altas concentraciones de polen y esporas se asocian con epidemias de asma y de otras enfermedades alérgicas.

Un alto nivel de emisión de granos de polen en la atmósfera, así como el estilo de vida occidental, están relacionados con un incremento en la frecuencia de problemas respiratorios inducidos por el polen (Geller-Bernstein et al. 1996; Geller-Bernstein et al. 2002). Distintos estudios ponen de manifiesto que las personas que viven en zonas urbanas tienden a estar más afectadas por problemas respiratorios relacionados con el polen que las personas que viven en el medio rural.

Diversos estudios sobre migración, ponen de manifiesto el papel que juegan distintos factores ambientales y el estilo de vida de países industrializados en el desarrollo de la atopía y asma. Algunos científicos han señalado la importancia de los factores ambientales sobre los genéticos en el inicio de las alergias respiratorias. La prevalencia de estas enfermedades, según los datos epidemiológicos, depende de la edad en la que se realizan los movimientos migratorios, incrementándose con la duración de la residencia en los países de destino.

En 1989, David Strachan propuso la hipótesis de la higiene, relacionando un aumento de las enfermedades alérgicas con una menor exposición a gérmenes en edad temprana, debido sobre todo a estándares de limpieza más altos. Al no haberse expuesto el sistema inmune frente a dichos gérmenes en su momento, puede verse estimulado por otras sustancias inofensivas como puede ser el polen. Esta hipótesis ha sido refrendada hoy en día por distintos investigadores.

En un estudio realizado en Madrid (Tobías et al. 2003) se ha evidenciado asociación significativa entre un incremento de polen de Poaceae (gramíneas) y *Plantago*, del percentil 95 al 99, con un incremento en el número de visitas a los servicios hospitalarios de urgencias por asma del 17% y del 16%, respectivamente. También se ha observado asociación con el polen de Urticaceae (urticáceas), con un 8,5% de incremento en el número de urgencias por asma. Sin embargo, no está claramente definido el papel de los aeroalérgenos en el inicio del asma, e incluso en su exacerbación, por lo que se requiere más investigación antes de poder establecer posibles impactos del cambio climático.

Aun así, recientes cambios en el uso del suelo están afectando a la salud ambiental, provocando problemas de alergias entre la población. Un ejemplo es el diseño de nuevos espacios verdes urbanos y periurbanos, con

cierta falta de biodiversidad, o el paisaje forestal o agrícola a través del uso de monocultivos; como ejemplo el olivo en el sur de España (Galán et. al. 2005). Plantas invasoras pueden provocar importantes problemas de alergia, como es el caso de *Ambrosia* en Centro Europa, donde incluso bajas concentraciones de polen pueden provocar problemas de salud.

2.1.6. Otros compuestos

Numerosos artículos científicos ponen en evidencia los efectos de los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) sobre la salud de la población. Estos estudios presentan a los contaminantes individualmente, como familias de compuestos agrupándolos de acuerdo a sus efectos, presencia en las distintas matrices ambientales, peso molecular, etc.

Esta información ampliamente disponible excede en gran medida el objetivo de este documento y por tanto no se incorpora al mismo. Como ejemplo se menciona un trabajo presentado como comunicación en el que se aborda la exposición de lactantes a COP y sus efectos neurotóxicos (Gascón et al. 2013).

Aunque la OMS ha informado sobre la toxicidad del carbón negro (OMS 2012), hasta la fecha no está bien definida a qué fracción química de carbón se refiere. De hecho actualmente la definición es específica de cada una de las diferentes técnicas de medida disponibles para su análisis. Por este motivo el carbón en aire ambiente se puede determinar como: carbón orgánico, carbón elemental, carbón total (suma de los dos anteriores), carbón negro o humo negro, y el que se realiza con diferentes técnicas de análisis.

Además de las sustancias anteriormente mencionadas, en zonas localizadas pueden tener efectos negativos sobre la salud compuestos como: halógenos y sus derivados; arsénico y sus derivados; partículas de metales ligeros y pesados como el plomo, el

mercurio, cobre y zinc; partículas de sustancias minerales como el amianto y los asbestos, así como sustancias radiactivas.

2.2. Exposición a contaminantes

2.2.1. Medida de la exposición

La interpretación de los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana se fundamenta en estudios complementarios de dos tipos: toxicológicos y epidemiológicos.

Uno de los diseños epidemiológicos más utilizados es el de series temporales, que permite analizar las variaciones en el tiempo de la exposición y un indicador de salud en la población (número de defunciones, ingresos hospitalarios, etc.). Al analizar la misma población en diferentes periodos de tiempo, muchas de las variables que pueden actuar como factores de confusión (hábito tabáquico, edad, género, ocupación, etc.) se mantienen estables. La serie temporal se puede

definir como resultado de cuatro componentes básicos: tendencia, variación estacional, variación cíclica, variación accidental o aleatoria. Las series temporales se utilizan a menudo para predicción y pronóstico.

En otras ocasiones se usan series de datos georeferenciadas, usando herramientas de la geostatística clásica (Kriging), tratando de analizar y predecir los valores de una variable distribuida en el espacio y/o en el tiempo de forma continua.

Aunque en menor número, existen también varios estudios de cohortes sobre el impacto de la contaminación en la salud. El más importante es el realizado como parte del Estudio II para la Prevención del Cáncer (Pope et al. 2002). En este trabajo se concluyó que las partículas $PM_{2.5}$ y los óxidos de azufre se asociaban con la mortalidad, con la mortalidad por causas del aparato circulatorio y por cáncer de pulmón. Cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de $PM_{2.5}$ se asoció con un aumento en torno al 4%, 6% y 8% del riesgo

Contaminación atmosférica y salud

- La contaminación atmosférica produce más de 3,2 millones de muertes al año. Existe una relación cuantitativa entre niveles de contaminantes y efectos en salud en términos de aumento de morbilidad y mortalidad.
- La contaminación atmosférica no suele deberse a un único contaminante; habitualmente es mixta.
- En Europa, los principales contaminantes atmosféricos de origen antropogénico son las partículas en suspensión tanto torácicas (PM_{10}) como respirables ($PM_{2.5}$), el dióxido de nitrógeno y el O_3 .
- En el año 2013, la OMS estima una reducción en la esperanza de vida en un periodo que oscila entre varios meses y dos años debida al efecto a largo plazo de la exposición a PM.
- Distintos estudios ponen de manifiesto que las personas que viven en zonas urbanas tienden a estar más afectadas por problemas respiratorios relacionados con el polen que las personas que viven en el medio rural.
- En torno a un 20% de la población urbana europea está expuesta a niveles de PM y O_3 que exceden los valores de referencia establecidos en UE.
- Los efectos de la exposición a largo plazo en la salud son mucho mayores que los observados para la exposición a corto plazo.

de morir por todas las causas, por causas del aparato circulatorio y por cáncer de pulmón, respectivamente.

Desde los años noventa se han llevado a cabo diversos trabajos multicéntricos utilizando criterios de análisis estandarizados para estudiar diferentes aspectos de la relación contaminación atmosférica-salud. Así, se cuenta en Europa con el proyecto APHEA (Efectos a Corto Plazo de la Contaminación del Aire y la Salud: Un enfoque Europeo) (Katsouyanni et al. 1996), en Estados Unidos con el estudio NMMAPS (National Mortality and Morbidity Air Pollution Study) (Samet et al. 2000) y proyectos similares en Francia (Quenel et al. 1999) e Italia (Biggeri et al. 2001).

En 1999 se puso en marcha el programa APHEIS (Contaminación atmosférica y salud: Un sistema de información europeo) que pretendía establecer un sistema de vigilancia epidemiológica, cuyo objetivo era proporcionar información continua y útil sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud pública a los responsables de la toma de decisiones, a los profesionales de la salud ambiental y, en general, a todos los ciudadanos europeos. En el marco de este programa se analizan los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud en Europa y se irá actualizando con los resultados que se obtengan en posibles investigaciones de cara al futuro (Medina et al. 2009).

Por otro lado, en España se realizó un proyecto similar denominado Protocolo del estudio multicéntrico en España de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud (EMECAS), donde se estudió el impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de 16 ciudades (Ballester et al. 2004).

2.2.2. Valores de referencia para exposición humana

La relevancia que la calidad del aire tiene en la salud ha llevado a organismos internacio-

nales y nacionales a elaborar recomendaciones y normativas encaminadas a conseguir una calidad adecuada del aire ambiente para la población.

En el seno de la UE, los instrumentos legales actualmente vigentes que regulan la calidad del aire son las Directivas 2004/107/EC relativa a Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Níquel (Ni) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, incluido el benzopireno BaP) en aire ambiente y la Directiva 2008/50/CE, traspuesta en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, que establece entre otros aspectos, medidas destinadas a definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto; evaluar la calidad del aire ambiente en los Estados miembros basándose en métodos y criterios comunes; obtener información sobre la calidad del aire y mantenerla tratando de mejorarla en lo posible; y fomentar el incremento de la cooperación entre los Estados miembros para reducir la contaminación atmosférica. Los valores fijados en la directiva se presentan en la *tabla 20*.

Por su parte, la OMS elaboró una Guía de calidad del aire en la que, además de recomendar valores determinados (*tabla 20*), propone en cuanto a la contaminación atmosférica unas metas provisionales para cada contaminante, con el fin de fomentar la reducción gradual de las concentraciones. La OMS plantea que de alcanzarse estas metas, cabría esperar una considerable reducción del riesgo de efectos agudos y crónicos sobre la salud, y en todo caso, el objetivo último debe consistir en avanzar hacia los valores fijados en sus Directrices (OMS 2006).

Por otro lado, el informe 2012 de Calidad del Aire en Europa (Guerreiro et al. 2012) elaborado por la EEA pone de manifiesto con respecto a las PM y O₃, que una elevada proporción de la población urbana europea (*tabla 21*) está

expuesta a concentraciones muy superiores a los valores de referencia (límites y umbrales) establecidos en la legislación Europea y transpuestas a la legislación española.

La evidencia científica no sugiere ningún umbral por debajo del cual no se prevean efectos adversos en salud tras la exposi-

ción a PM (OMS 2006). El nivel más bajo del rango de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las PM_{2,5} se ha estimado en 3 µg/m³ - 5 µg/m³, tanto en Estados Unidos como en Europa occidental. La evidencia epidemiológica pone de manifiesto efectos adversos de

Tabla 20. Valores recomendados de contaminantes atmosféricos en las Directrices de la OMS y la Directiva Europea (Directiva 2008/50/CE)

	Directrices OMS	Directiva Europea
Partículas en suspensión		
PM _{2,5}	10 µg/m ³ de media anual	20 µg/m ³ anual
	25 µg/m ³ de media en 24h	
PM ₁₀	20 µg/m ³ de media anual	
	50 µg/m ³ de media en 24h	50 µg/m ³ diario
Otros contaminantes		
O ₃	100 µg/m ³ de media en 8h	120 µg/m ³ 8 horas
NO ₂	40 µg/m ³ de media anual	40 µg/m ³ anual
	200 µg/m ³ de media en 1h	
SO ₂	20 µg/m ³ de media en 24h	125 µg/m ³ diario
	500 µg/m ³ de media en 10 min	
BaP (Benzo(a)pireno)	0,12 ng/m ³ anual	1 ng/m ³ anual
CO	10 mg/m ³ 8 horas	10 mg/m ³ 8 horas
Pb	0,5 µg/m ³ anual	0,5 µg/m ³ anual
C ₆ H ₆ (Benceno)	1,7 µg/m ³ anual	5 µg/m ³ anual

Fuente: Elaboración propia en base a las recomendaciones de OMS y Directiva Europea

Tabla 21. Población urbana (%) en Unión Europea (UE) expuesta a concentraciones de contaminantes superiores a los niveles establecidos (2008-2010)

Contaminante	Valor de referencia UE	Estimación de exposición (%)
PM _{2,5}	Año (20 µg/m ³)	16-30
PM ₁₀	Diario (50 µg/ m ³)	18-21
O ₃	8 horas (120 µg/ m ³)	15-17
NO ₂	Año (40 µg/ m ³)	6-12
BaP (Benzo(a)pireno)	Año (1 ng/ m ³)	20-29
SO ₂	Día (125 µg/ m ³)	< 1
CO	8 horas (10 ng/ m ³)	0-2
Pb	Año (0,5 µg/ m ³)	< 1
C ₆ H ₆ (Benceno)	Año (5 µg/ m ³)	< 1

Fuente: Elaboración propia en base a Air quality in Europe -2012 report. EEA 2012

las partículas tras exposiciones, tanto de corta como de larga duración (Linares y Díaz 2010) y algunos trabajos realizados a nivel local en España avalan la inexistencia de umbrales de seguridad (Linares et al. 2009).

Un número importante de estudios realizados en distintas ciudades han puesto de manifiesto que, aún por debajo de los niveles de calidad de aire considerados como seguros, los incrementos de los niveles de la contaminación atmosférica se asocian con efectos nocivos sobre la salud.

En el año 2011, el Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (E-PRTR) publicó un mapa europeo de la contaminación atmosférica procedente de diversas fuentes como el transporte por carreteras, transporte marítimo, aviación, la calefacción doméstica, la agricultura y pequeñas empresas (fuentes difusas). El mapa ha sido confeccionado con los datos notificados oficialmente por los países

de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), Convenio sobre la Contaminación Atmosférica transfronteriza a larga distancia (CLRTAP) y de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Los mapas permiten a los ciudadanos localizar los puntos de emisión de contaminantes al aire posibilitando observar de cerca la situación del barrio en el que viven. Estos mapas incluyen las emisiones de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, dióxido de carbono, amoníaco o partículas PM₁₀ y complementan los datos que ya ofrece el E-PRTR sobre las emisiones que producen las distintas plantas industriales.

Con relación a España, en el Informe de la Evaluación de la Calidad del Aire en España 2011 se incluyen los siguientes contaminantes: SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, C₆H₆, CO, O₃, As, Cd, Ni, BaP, informando que se superaron los VL para algunos de ellos (tabla 22). En este informe se presentó una situación similar a la de años anteriores para el NO₂, se

Tabla 22. Zonas españolas evaluadas para Calidad de Aire según superación de valores por contaminantes evaluados

Contaminante		Total zonas	Zonas que superaron Valores Límite (VL)	Zonas que superaron Valores Objetivo (VO)	Zonas que superaron Valor Objetivo a Largo Plazo (VOLP)
SO ₂	Horario	132	1		
	Diario	132	2		
NO ₂	Horario	134	3		
	Anual	134	8		
PM ₁₀	Diario	135	10		
	Anual	135	1		
PM _{2.5}		135	0*	0	
Pb		81	0		
C ₆ H ₆		122	0		
CO		131	0		
As		76		0	
Cd		76		0	
Ni		76		0	
BaP		76		0	
O ₃		135		51	82

* Entrará en vigor el 01/01/2015

Fuente: Tomado de Informe de la Evaluación de la Calidad del Aire en España 2011.

mantuvo la tendencia positiva de los últimos años en los niveles observados de PM_{10} y en zonas suburbanas o rurales el O_3 troposférico siguió en niveles elevados por la alta insolación y por el mantenimiento en la emisión de sus precursores. En 2011 se calculó por primera vez el Indicador Medio de Exposición (IME) para $PM_{2.5}$ con un valor de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y que supone un objetivo nacional de reducción para 2020 de 15 %.

Datos publicados en el Plan Aire por el (MAGRAMA) relativos al año 2011, indican que son las ciudades y determinadas zonas industriales (Bailén, Algeciras, Terres de Ponent, Asturias...) las que superan los valores regulados con mayor frecuencia. La población censada que pudiera estar afectada por los cuatro contaminantes principales se recoge según datos publicados por el MAGRAMA en la *figura 17*. No obstante es importante recordar que, si una sola estación supera el valor legal, se considera que toda la zona incumple, aunque existan otras estaciones en la misma zona, que cumplan los requisitos legalmente establecidos. Por ello, se habla de población censada y no de población afectada por la contaminación.

No existe zonificación general², sino que a efectos de calidad de aire la zonificación del territorio español depende de cada contaminante.

En nuestro país, el proyecto CALIOPE, financiado por el MAGRAMA (CALIOPE 157/PC08/3-12.0), se implementa con el objetivo de desarrollar un sistema de modelización de la calidad del aire operativo para España, que proporcione un servicio de pronóstico de la calidad del aire con elevada resolución espacial y con anidamientos en áreas urbanas de muy alta resolución. Este proyecto plantea la realización de simulaciones de pronóstico (hasta 48 h) de calidad del aire mediante un sistema integrado de modelos

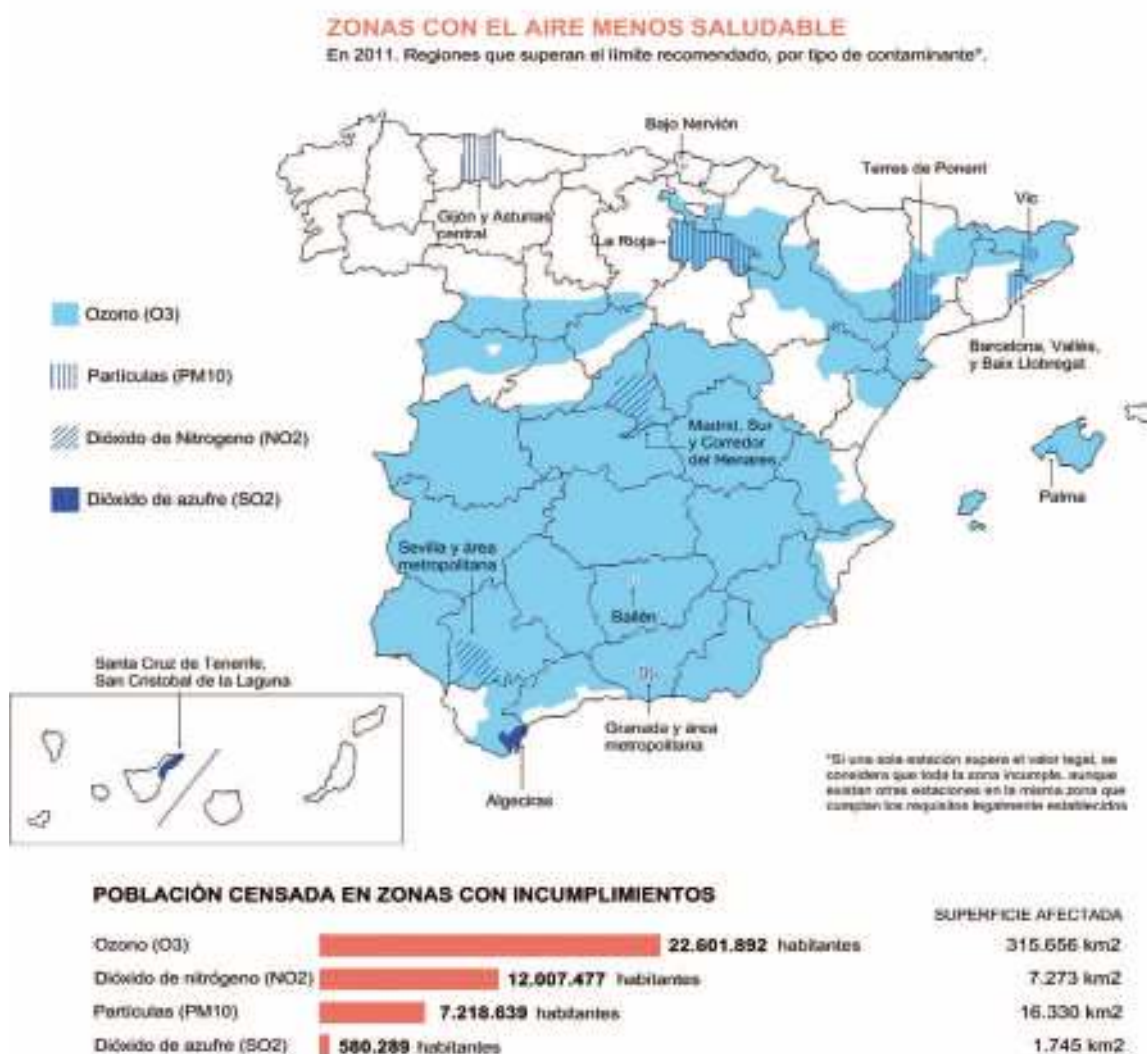
que representan el estado actual del conocimiento, que permitan la aplicación de simulaciones de contaminantes fotoquímicos gaseosos y de material particulado con alta resolución espacial (1–4 km) y temporal. El sistema propuesto consistirá en un conjunto de modelos con tres módulos básicos: modelo meteorológico mesoescalar, modelo de emisiones y modelo de calidad del aire. El sistema estará complementado por un cuarto módulo de validación de los resultados de las predicciones, que permitirá identificar cualitativa y cuantitativamente la capacidad del sistema para pronosticar los episodios de contaminación de la calidad del aire.

Según datos obtenidos del sistema CALIOPE publicados recientemente, y que evalúan los niveles de PM_{10} y $PM_{2.5}$, existe una amplia variación en las diferentes áreas geográficas españolas, influida por las condiciones ambientales de cada área y por su naturaleza urbana o rural (Pay et al. 2011).

En esta línea se ha presentado la aplicación de un método para combinar las mediciones y los resultados de concentraciones de contaminantes atmosféricos obtenidos con el modelo CHIMERE. Este método tiene por objeto proporcionar información más realista de la calidad del aire en España, en respuesta a los requerimientos de la legislación nacional y europea. El método consiste en utilizar técnicas de regresión lineal e interpolación "kriging", resultando apropiado para modelizar con precisión datos que tengan un comportamiento uniforme en la zona considerada y para corregir los resultados del modelo ajustándose mejor a las mediciones. Se aplica de forma separada a la contaminación rural y urbana, obteniendo mapas para cada caso, tratando de combinarlos según el grado en que cada zona del territorio se considera rural o urbana (Martín et al. 2009).

² La principal modificación con respecto al año 2010 se produjo en la Comunidad Autónoma de Andalucía para todos los contaminantes.

Figura 17. Zonas españolas con el aire menos saludable en 2011



Fuente: Adaptado a partir del mapa publicado por El País (15/02/2013) con datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Plan Aire)

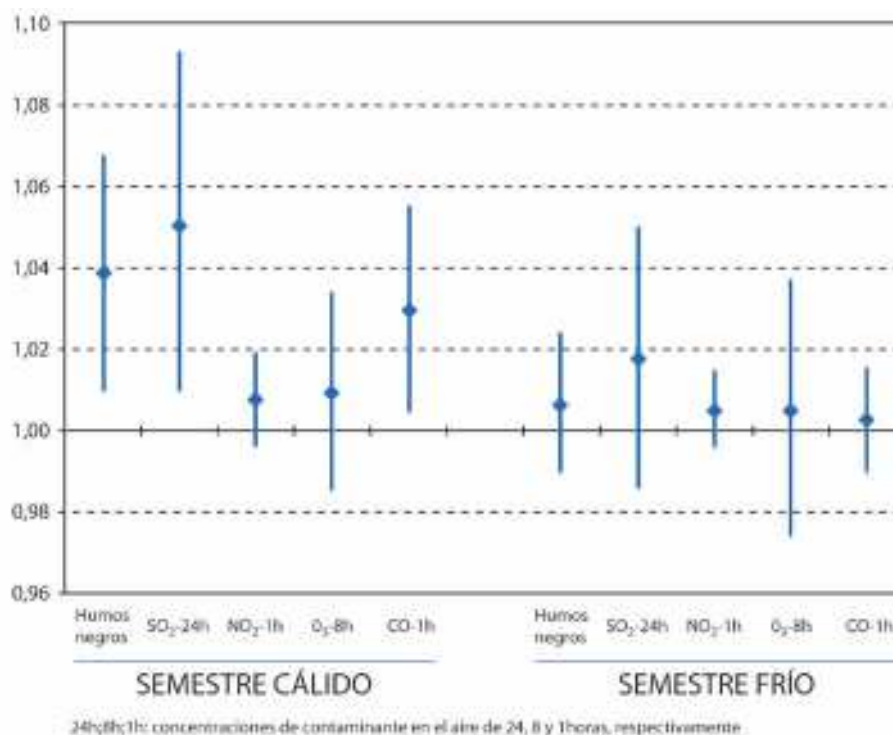
2.2.3. Exposición humana

Los efectos de la exposición a contaminación atmosférica son múltiples y de diferente severidad, como ya se ha comentado, siendo el sistema respiratorio y cardiocirculatorio los más afectados. Además, el efecto de la contaminación atmosférica varía en relación a la estación del año. Posiblemente por el papel sinérgico de la temperatura con la

contaminación, así como que la medida de la contaminación en exteriores en verano y primavera puede reflejar mejor la medida real de la exposición de la población al pasar más tiempo en la calle o mantener más tiempo las ventanas abiertas (figura 18).

Desde el punto de vista de la salud pública, es importante destacar que, aunque la magnitud del impacto en salud sea pequeña, la propor-

Figura 18. Relación entre contaminación e ingresos de urgencia por enfermedades cardiovasculares



Asociación entre contaminación atmosférica e ingresos urgentes diarios por enfermedades cardiovasculares. Análisis por semestres. Valencia 1994-1996. Los resultados se expresan como el riesgo relativo (y su intervalo de confianza al 95%) por un incremento en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 mg/m^3 para el CO) en los niveles diarios del contaminante correspondiente.

Fuente: Ballester et al. 2001.

Análisis por semestres. Valencia 1994-1996. Los resultados se expresan como el riesgo relativo (y su intervalo de confianza al 95%) por un incremento en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 mg/m^3 para el CO) en los niveles diarios de contaminante correspondiente

ción atribuible del impacto a la contaminación es importante, dado que toda la población está expuesta.

Los VL de partículas en suspensión se superan principalmente en zonas urbanas, donde habita la mayor parte de la población, aunque este fenómeno afecta de diferente modo en los países de la UE, presentando los países nórdicos los niveles más bajos de contaminación. En general, en torno a un 20% de la población urbana europea está expuesta particularmente a niveles de PM y O₃ que exceden los valores de referencia establecidos en la UE (figura 19), siendo muy superior si se contemplan los valores recomendados por la OMS (figura 20). Un estudio multicéntrico llevado a cabo en

Francia, Suiza y Austria indicó que el 6% de la mortalidad, y un número muy importante de nuevos casos de enfermedades respiratorias en estos países, podía ser atribuido a la contaminación atmosférica. Cerca de un 50% de este impacto es debido a la contaminación emitida por los vehículos a motor (Künzli et al. 2000).

Estudios epidemiológicos a largo plazo (años) asocian la exposición a PM_{2.5} con mortalidad y morbilidad. Las pruebas son más débiles para las PM₁₀, y casi no hay estudios a largo plazo para las partículas gruesas. Cuando se habla de exposiciones de día (24 horas promedio) a PM, éstas se asocian con la mortalidad y morbilidad inmediata y en los días posteriores.

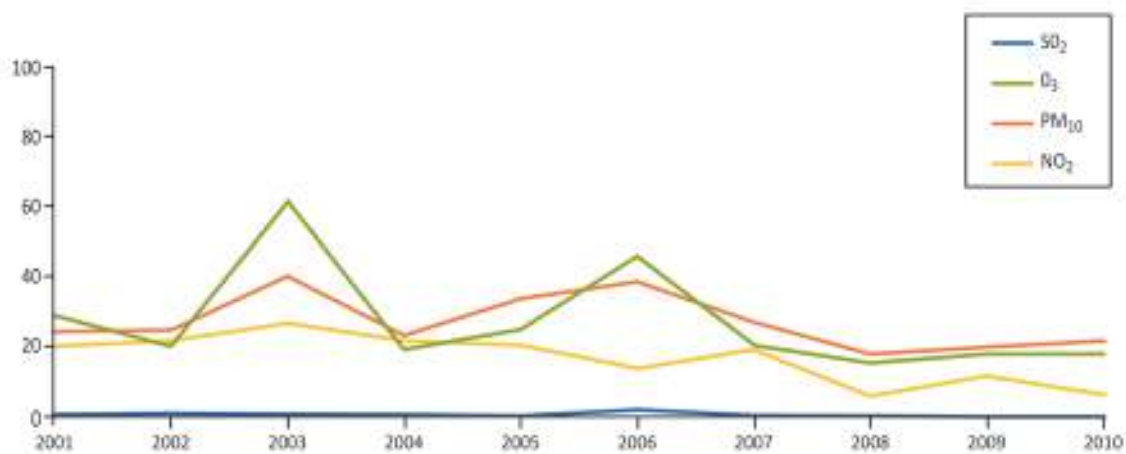
Se sabe que exposiciones repetidas (de varios días) pueden tener efectos sobre la salud más graves que los efectos de días individuales. Los efectos de la exposición a largo plazo son mucho mayores que los observados para la exposición a corto plazo lo que sugiere que los efectos no son sólo debido a las exacerbaciones, sino que pueden ser también debido a la progresión de las enfermedades subyacentes.

Por otro lado, hay evidencia significativa de los estudios toxicológicos y clínicos que utilizan

partículas derivadas de combustión, en las que exposiciones pico de corta duración (que van desde menos de una hora hasta unas pocas horas) conducen a cambios fisiológicos inmediatos, lo cual es apoyado por observaciones epidemiológicas.

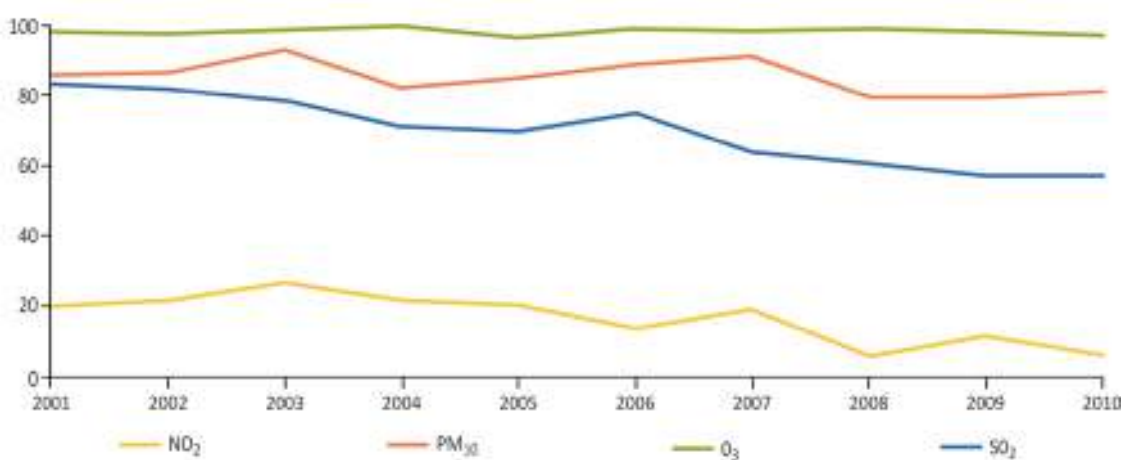
El proyecto MED-PARTICLES indica que en la región mediterránea europea un aumento $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ en los niveles del mismo día y el anterior se asocia con un 0,55% de aumento en la mortalidad, 0,57% de

Figura 19. Población urbana (%) expuesta a contaminación atmosférica que supera los valores estándares de calidad de UE. Año 2001-2010



Fuente: Air quality in Europe -2012 report. EEA 2012

Figura 20. Población urbana (%) expuesta a contaminación atmosférica que supera los valores de calidad recomendados por OMS. Año 2001-2010



Fuente: Air quality in Europe -2012 report. EEA 2012

incremento en mortalidad cardiovascular y un aumento del 1.91% en mortalidad respiratoria en exposiciones acumuladas durante el mismo día y los 5 días anteriores. En general, las asociaciones resultaron más fuertes para la mortalidad cardiovascular y respiratoria que para la mortalidad por todas las causas, para los meses calurosos frente a meses fríos, y en individuos de 75 y más años frente a menores de esa edad.

Las asociaciones con $PM_{2.5-10}$ eran positivas, pero estadísticamente no significativas en la mayor parte de análisis, mientras las asociaciones con PM_{10} parecieron ser debidas a los niveles de $PM_{2.5}$ (Samoli et al. 2013).

Según el documento de la OMS, Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution (REVIHAAP), recientes estudios experimentales en los que se sometía a voluntarios sanos a exposiciones en concentraciones de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 ppb) de ozono durante períodos prolongados (6,6 horas) en ejercicio, la función pulmonar se vió afectada y se provocó inflamación. También se ha comprobado el mismo efecto en campamentos de verano a una menor concentración, inferior a $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 ppb) en un promedio de 8 horas. Se ha argumentado que las respuestas a estos niveles más bajos pueden deberse a subpoblaciones con mayor susceptibilidad o a efectos adicionales de otros factores estresantes, como presencia de otros contaminantes.

La evidencia de un umbral a partir de estudios epidemiológicos de exposición a corto plazo es incompatible con algunos grandes estudios. Trabajos realizados en numerosas ciudades indican que se estaría en un umbral cercano a las concentraciones de fondo de ozono, mientras que otros estudios a corto plazo sugieren un umbral de entre 20 y $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 y 45 ppb respectivamente) (máximo diario de 1 hora). En resumen, la evidencia de un umbral para la exposición a corto plazo no es consistente,

pero allí donde se observa un umbral, es probable que se encuentre por debajo de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (45 ppb) (máximo 1 - horas).

Cuando hablamos de niveles de NO_2 , el informe REVIHAAP señala que hay evidencia de pequeños efectos sobre la inflamación y el aumento de la sensibilidad de las vías respiratorias *per se* en el intervalo de 380 a $1880 \text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en estudios de cámara bajo una amplia gama de condiciones de exposición, con duraciones de exposición de 15 minutos a 6 horas, con inconsistencia en los resultados, mostrando una consistencia más marcada en la respuesta observada para concentraciones de $1880 \text{g}/\text{m}^3$. Los estudios se realizaron en sujetos sanos o asmáticos leves, mientras que la población en general incluye sujetos más sensibles y que por lo tanto pueden experimentar efectos más pronunciados a concentraciones más bajas. Nuevos informes sugieren cambios moderados en las células pulmonares en estudios realizados con animales expuestos a concentraciones de una hora de 380-1500 g/m^3 . Estos intervalos de concentración no están lejos de las concentraciones que se producen en la carretera o por el tráfico durante varias horas.

En España, un factor que contribuye a la contaminación por material particular es el número de los vehículos diésel, junto con condiciones propias del clima mediterráneo que propician episodios de contaminación, como la falta de precipitación que no elimina el polvo sedimentado en la superficie urbana y la intrusión subsahariana. El hecho de que los máximos niveles se den en las ciudades hace que también afecte a un mayor número de personas.

En España, con datos disponibles en 13 ciudades del proyecto EMECAS, los resultados del análisis conjunto indican que un incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de humos negros se asocia con un aumento de 0,8% en el número de defunciones diarias. También se ha encontrado una asociación

significativa entre la mortalidad y el resto de contaminantes. Para los grupos de causas específicas la magnitud de la asociación fue mayor, especialmente para las enfermedades respiratorias (Ballester et al. 2003). Con datos de 3 ciudades, el ozono únicamente mostró asociación con la mortalidad cardiovascular y en el semestre cálido (Sáez et al. 2002).

Las evidencias indican que los efectos respiratorios, especialmente las agudizaciones del asma, son los motivos principales de ingreso hospitalario a causa de la contaminación atmosférica (Ballester 2009). Sin embargo, existen otros efectos que no deben descartarse, en especial aquellos que pueden manifestarse después de un tiempo de exposición mantenida, como una alteración de la función pulmonar, un incremento de las afecciones alérgicas, alteraciones inmunitarias e, incluso, un aumento del riesgo de mortalidad.

Un reciente estudio especifica los efectos a largo plazo sobre el aparato respiratorio, planteando hasta qué punto la contaminación es causa de la aparición de casos nuevos de asma y que está todavía bajo debate (Sunyer 2011).

Se han realizado estudios con el objetivo de evaluar la resuspensión del polvo urbano por carretera, y cuantificar los beneficios reales en términos de ambiente sobre las concentraciones de PM_{10} . Con este fin se llevó a cabo una campaña específica en una calle del centro de Barcelona, ciudad mediterránea con alta contaminación relacionada con el tráfico por su densidad de coches y por su elevada frecuencia de precipitaciones. El estudio evaluó los efectos de varios lavados de calle realizados con barredoras mecánicas y de presión de agua durante la noche en todos los carriles de circulación y aceras. Los niveles de PM_{10} se compararon simultáneamente con cuatro estaciones de fondo urbano de referencia para interpretar la calidad del aire para cualquier variabilidad meteorológica. En el lugar con mayor viento, las concen-

traciones de PM_{10} registraron una disminución media diaria durante las 24 h posteriores a los lavados de calle. Sin embargo, parte de dicha disminución se debía a la variabilidad meteorológica detectada. Este hecho revela que una disminución efectiva de las cargas de polvo de las calles se puede relacionar con la eficiencia de su lavado. La mitigación de la resuspensión en el camino de tierra mediante filtro de PM_{10} fue confirmada por el análisis de la composición química del aire, observándose que las concentraciones de Cu, Sb, Fe y otros minerales disminuyen de manera significativa con respecto a las concentraciones de carbono elemental (Amato et al. 2009).

Aparte del NO_2 , cuya principal fuente de emisión es el tráfico, se han analizado los COV, concretamente benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos. Los COV pueden tener otras fuentes de emisión (emisiones industriales, gasolineras, vertederos de residuos, etc.), pero el tráfico rodado es su principal fuente en nuestro entorno, y para los que se ha encontrado un efecto similar al del NO_2 . Las observaciones de HONO en zonas urbanas se caracterizan por una alta concentración por la noche y bajas concentraciones alrededor del mediodía. Estudios realizados recientemente tratan de cuantificar el efecto de la adición de fuentes de ácido nitroso en la previsibilidad de sus perfiles y su consecuente efecto sobre la formación de contaminantes secundarios como O_3 y sobre todo $PM_{2,5}$ (Gonçalves et al. 2010).

3. Impactos previsibles del cambio climático

3.1. Impactos del cambio climático en la contaminación

La actividad humana y los procesos naturales llevan a emisiones de gases contaminantes y de partículas de varios compuestos a la atmósfera, que afectan tanto a la calidad

del aire como al clima (cambio climático). El creciente reconocimiento internacional de la importancia de abordar la contaminación del aire y el clima de forma simultánea se refleja, por ejemplo, en la creación de la Coalición para el Clima y el Aire Limpio (GCAC) con objeto de reducir los contaminantes climáticos de vida corta, la puesta en marcha del Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera (PIGB) y el International Global Atmospheric Chemistry (IGAC). El concepto de la contaminación del aire y el clima ha sido introducido también en la convención Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP) que, por ejemplo, identificó la evaluación de la posibilidad de incorporar forzadores climáticos de corta duración (SLCFs) en instrumentos tales como la revisión del Protocolo de Gotemburgo.

Hoy en día se presenta al CO_2 como el principal responsable del calentamiento global y del cambio climático, aunque intervienen además otros componentes denominados "forzadores del clima" (definidos como cualquier compuesto gaseoso o particular que contribuye al cambio climático, incluyendo O_3 , CH_4 , el óxido nitroso, gases que contienen flúor (F-gases), así como PM). Los principales efectos sobre el clima de estos compuestos se recogen de manera breve en la tabla que aparece en Anexo (1).

Con respecto a la posible modificación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos debidos a los impactos del cambio climático hay que diferenciar entre dos grupos (Guerreiro et al. 2012). El primer grupo estaría formado por los denominados GEI (dióxido de carbono, metano, etc.) cuyo efecto principal es el incremento de la temperatura ambiente con los consiguientes cambios macroecológicos.

En el segundo grupo se incluirían otros gases, como el mercurio gaseoso, ozono y compuestos orgánicos semivolátiles, y partículas, especialmente las de composición carbonosa,

cuya formación y/o emisión se vería favorecida por el cambio climático. Esta emisión también significaría la movilización de los contaminantes, especialmente en el caso del mercurio que se encontraba almacenado en la cubierta vegetal (Ericksen et al. 2003; Vincent 2001) de los ecosistemas boreal y tropical, tras cientos de años de exposición ambiental a las emisiones naturales y/o antropogénicas (Schuster et al. 2002).

Las concentraciones de contaminación atmosférica se ven influenciadas por múltiples factores como el viento, la temperatura, la topografía, las actividades humanas (transporte, industria...) la interacción de los patrones climáticos locales, así como de las medidas de adaptación puestas en marcha.

Con respecto al ozono se estima un incremento del 1% al 2% por década (EEA 2008). Las altas concentraciones de O_3 se ven afectadas por el incremento de la temperatura, la estabilidad atmosférica, la ausencia de vientos y la intensa insolación. Por otro lado pueden producirse reducciones de la concentración en entornos urbanos contaminados al reaccionar con el monóxido de nitrógeno. Esto nos indica que una reducción de NO_x en las ciudades puede dar lugar a aumentos de O_3 (Díaz y Linares 2010).

Por su parte, los estudios realizados respecto a las partículas en suspensión, proporcionan resultados diferentes según la zona de estudio. Las previsiones para $\text{PM}_{2.5}$ son inciertas, con resultados contradictorios en los estudios realizados hasta la fecha. Recientemente en el estudio realizado en el ámbito del proyecto MEDPARTICLES se encontraron asociaciones más fuertes entre $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} y la mortalidad durante los meses más cálidos, coincidiendo con los resultados reportados en EE.UU. (Zanobetti y Schwartz 2006), pero no con los resultados obtenidos para Estocolmo (Meister et al. 2011). Las diferencias pueden deberse en parte a diferentes

fuentes de partículas gruesas, como el polvo del desierto transportado desde la región del Sahara de las zonas mediterráneas, que es más evidente en la primavera y principios del otoño (Pey et al. 2013).

Para el mercurio se prevé que su emisión se incremente por el aumento de fuegos forestales en ecosistemas boreales (Siegler 2003), habiéndose estimado que representaría un 8% del total emitido de forma global (Friedli et al. 2009). Sin embargo, aunque este porcentaje parece pequeño, el previsible incremento de los fuegos forestales en este ecosistema, hará que aumente en una gran medida.

Con respecto a los metales pesados, su transporte va a depender también del tamaño de la partícula (PM_{10} , $PM_{2.5}$ o PM_1), como se ha comentado con anterioridad, así como de las condiciones meteorológicas y la estabilidad atmosférica. La emisión natural de estas partículas se produce habitualmente en zonas áridas y por tanto, su composición principal es de metales alcalino-térreos en contraposición a la producida en entornos urbanos e industriales donde abundan los metales pesados (Querol et al. 2006). Aunque estas partículas de origen natural no presentan una composición química que suponga un riesgo para la salud, hay una gran evidencia científica de que características como el propio tamaño de la partícula pueda incrementar este riesgo (OMS 2006; Perez et al. 2012; López-Villarrubia et al. 2012; Reyes et al. 2013). La emisión de estas partículas podría incrementarse si con el cambio climático se incrementa la desertización disminuyendo la cubierta vegetal, y por tanto aumentando la emisión y transporte por acción eólica.

Evidentemente, la presencia de los contaminantes en aire, mencionados anteriormente, que pueden estar sujetos a procesos de transporte de corto y largo recorrido, alcanzan en ocasiones zonas alejadas de sus fuentes de emisión. De hecho, se ha informado de

la acumulación de Hg en especies piscícolas capturadas en lagos, ríos, pantanos, etc., que en su mayoría presentaban además, poca cantidad de nutrientes y estaban alejados de focos antropogénicos (Kelly et al. 2006).

Por otro lado, distintas partículas biológicas, entre las que se encuentran los granos de polen, esporas y aeroalérgenos, están sujetas al transporte a larga distancia, estando la población expuesta a partículas que se emiten en zonas alejadas (Buters et al. 2010; Galán et al. 2013). En el caso de aeroalérgenos, en ocasiones se ha observado una mayor exposición a ellos, no siempre coincidiendo con una mayor exposición al polen, ya que estas partículas pueden estar sujetas a un mayor transporte por su menor tamaño (Galán et al. 2013).

Por otro lado, el cambio climático también afectaría directamente al ciclo de emisión, transporte y depósito de los COP y cuyas emisiones podrían verse incrementadas (Jianmin y Cao 2010). La presencia de COP en aire ambiente es importante pues su composición química les hace ser altamente tóxicos tanto para los seres humanos, como para otros organismos presentes en el medio ambiente.

3.2. Estacionalidad e influencia de las condiciones meteorológicas en la emisión, transporte y formación de los contaminantes atmosféricos

La estacionalidad puede diferir entre las distintas localizaciones dependiendo, fundamentalmente, de las emisiones y los fenómenos meteorológicos. Sin embargo, existe un patrón homogéneo en la mayor parte de ciudades españolas, en el que los contaminantes primarios procedentes de la combustión de combustibles fósiles presentan valores más altos en invierno (por más emisiones junto a condiciones de estabilidad meteorológica) y valores más bajos los meses de verano. En cambio el ozono presenta el

patrón inverso, sus valores son más altos en los meses de temperatura más alta debido a la interacción de los rayos ultravioleta con los gases precursores (NO_2 , COV) procedentes del escape de los vehículos y otras fuentes.

Este patrón podría ser diferente para contaminantes transportados a larga distancia. En España éste es el caso de los episodios de contaminación por partículas que ocurren en las Islas Canarias y en parte de la Península Ibérica como consecuencia del transporte de polvo del Sahara. Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de valorar los niveles de partículas en nuestro país, pues en determinadas circunstancias una parte importante procede del polvo del Sahara (Querol et al. 2006). Una línea de trabajo desarrollada en España relaciona las intrusiones de polvo sahariano con aumento de la mortalidad e ingresos hospitalarios en Madrid y Barcelona (Linares y Díaz 2009; Jiménez et al. 2010; Díaz et al. 2012; Pérez et al. 2012).

Las concentraciones de los contaminantes atmosféricos dependen además de por sus niveles de producción y emisión, de manera determinante por su modelo de dispersión y transporte. El cambio climático puede afectar a cualquiera de estos procesos.

Por un lado, y relacionado con la meteorología, una posible mayor frecuencia de fenómenos anticiclónicos puede hacer disminuir la dispersión de los contaminantes. Otro fenómeno meteorológico, que se ha anticipado como posible consecuencia del cambio climático, sería el aumento en los episodios de tormenta seca con transporte de polvo del Sahara (intrusiones saharianas) y de otros lugares. Los granos de polen se pueden utilizar como bioindicadores de la intrusión de polvo sahariano en la Península Ibérica, como se ha observado en diferentes estudios (Cabezudo et al. 1997; Cariñanos et al. 2004; Izquierdo et al. 2011).

Por otro lado, el aumento de temperatura se correlaciona muy directamente con el

incremento en las concentraciones de O_3 . Por último, y de manera indirecta, un aumento de la temperatura puede asociarse con un incremento de las emisiones de contaminantes por un mayor consumo de energía debido a los sistemas de acondicionamiento de aire, refrigeración y conservación de alimentos y otros productos.

Se ha constatado que mientras que las emisiones de gases que contribuyen a la formación de ozono se redujeron en Europa desde el año 2001 al año 2010, las concentraciones de O_3 no han disminuido (EEA 2012). Se cree que el aumento del transporte intercontinental de ozono, y sus precursores en el hemisferio norte, pueden enmascarar los efectos de las medidas europeas para reducir las emisiones de precursores de ozono. Se estima que son necesarias grandes reducciones de las emisiones de gases precursores de O_3 para lograr una disminución en las concentraciones de O_3 . Las medidas para reducir las emisiones del humo negro y el ozono tendrán un doble beneficio, la protección de la salud humana a nivel local y la protección del clima.

Es incierto predecir cómo puede afectar el cambio climático a los niveles de otros contaminantes. Los contaminantes más relacionados con la producción energética por combustibles fósiles como el SO_2 y partículas, posiblemente experimentarán un descenso en emisiones por disminución del uso de dichos sistemas. Sin embargo, para otros contaminantes como las partículas $\text{PM}_{2,5}$, el NO_2 o el CO, muy relacionados con emisiones de los vehículos a motor, no se puede asegurar cuál será su tendencia, aunque en gran medida vendrá marcada por el consumo de combustibles fósiles y la mejora en las emisiones de los motores de combustión, (EEA 2012).

Las concentraciones de O_3 pueden ser diferentes según los distintos tipos de estaciones de medición y para diferentes indicadores. A diferencia de otros contaminantes, los niveles de O_3 son generalmente más altos en las zonas rurales. Tanto la distribución y

magnitud de las condiciones climáticas a lo largo de la dirección norte-sur y este-oeste en Europa, como las fuentes de emisión de precursores de O_3 , y la composición química del aire, dan lugar a considerables diferencias regionales de las concentraciones de O_3 en verano (EEA 2011).

El O_3 presenta una alta estacionalidad anual, con valores más altos en los meses cálidos y un patrón diario con picos importantes durante las horas de irradiación solar. Veranos cálidos y secos con períodos duraderos de alta presión de aire en gran parte de Europa, conducen a elevadas concentraciones de O_3 . Desde el 2001 la exposición al O_3 no ha disminuido. Las variaciones meteorológicas inducen año a año diferencias en los niveles de O_3 , por ejemplo durante los años 2003 y 2006 se dieron condiciones meteorológicas favorables para la formación de O_3 resultando en concentraciones excepcionalmente altas.

Por otro lado, las concentraciones de PM en área rural para las que se tienen en cuenta además de las emisiones primarias (naturales y antropogénicas) las partículas secundarias (aerosoles inorgánicos secundarios), y los aerosoles orgánicos secundarios, varían en toda Europa y con las estaciones. La contribución de SIA es mayor en invierno, debido al aumento de las emisiones de la combustión en la estación fría, y la contribución de los aerosoles orgánicos es generalmente más alta en verano, cuando las emisiones de la vegetación terrestre son más abundantes, aumentando en dirección norte sur del continente.

Dependiendo en parte de las condiciones atmosféricas, los aerosoles inorgánicos contribuyen aproximadamente de media en un tercio a las PM_{10} en el aire de la zona rural centroeuropea. En las zonas urbanas el porcentaje es menor porque aquí hay que tener en cuenta también la emisión de partículas primarias.

Las variaciones meteorológicas pueden causar variaciones en el grado de exposición a SO_2 y NO_2 . Aunque el grado de exposición durante el periodo de 2001 a 2010 sigue una tendencia decreciente y en 2010 ninguna población urbana de la UE fue expuesta a SO_2 por encima del valor límite medio de 24 horas, este VL ha oscilado en la UE entre el 0% y el 4% desde 2001. Cabe decir que en España en el año 2011 dos zonas superaron los VL de la UE para SO_2 , Bahía de Algeciras y Sta. Cruz de Tenerife. Dicho rango refleja en parte variaciones causadas por la meteorología. Lo mismo sucede con la exposición a NO_2 , que sigue una tendencia decreciente desde el 2001. Aproximadamente el 7% de la población de la UE fue expuesta a NO_2 por encima del valor límite anual y del límite de OMS para NO_2 en 2010. La exposición por encima del valor límite varía entre el 6% y el 27%. Dicho rango refleja variaciones causadas por la meteorología.

A nivel local pueden producirse situaciones episódicas de contaminación atmosférica asociadas a fenómenos meteorológicos de altas presiones y ausencia de lluvias prolongadas.

Según un estudio que relaciona la dinámica atmosférica con la contaminación (Gonçalves et al. 2009), la región del sur del Mediterráneo con frecuencia experimenta niveles críticos de contaminantes fotoquímicos en verano. Con el fin de analizar la contribución de los diferentes procesos atmosféricos en este tipo de episodios, se han realizado estudios para evaluar las dinámicas en un ambiente costero y en una zona interior-continental: el Norte-Este y Central de la Península Ibérica (NEIP y CIP, respectivamente). El primero se caracteriza por un terreno muy complejo, mientras que el segundo se comporta como una superficie plana, que afecta claramente al patrón de los flujos locales. Como periodo de estudio se seleccionó un evento representativo de la contaminación fotoquímica (se producen más del 78% de los días de verano), que ocurrieron los días 17 y 18 de junio de 2004. Se estudiaron los procesos atmosféricos que influyen en

la variación de los niveles de concentración de O_3 , NO_x y COVNM (Compuestos Orgánicos Volátiles No Metano). Se observó que la formación de ozono fotoquímico ocurre principalmente en zonas a sotavento respecto de las principales emisiones de NO_x durante el mediodía. Las zonas urbanas y carreteras principales, como principales fuentes de emisiones de NO_x , actúan como sumideros de O_3 , absorbiendo hasta $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora durante los momentos de pico de circulación del tráfico. El gradiente de concentración de ozono generado durante el día aumenta la contribución de los procesos de difusión de O_3 a nivel del suelo.

Por otro lado, se ha observado que las máximas contribuciones positivas en fase gaseosa de O_3 se producen en la zona costera, alcanzando dosis altas alrededor de 500 a 1.500 m.s.n.s. (metros sobre el nivel del suelo). El transporte de los precursores del ozono por los flujos de convección determina la ubicación de la máxima concentración de O_3 en la superficie. La formación química de O_3 implica una menor oxidación de COVNM en el NEIP que en los dominios del CIP, debido a diferencias en la sensibilidad química entre estas áreas.

3.3. Factores modificadores del impacto de las variaciones del clima y la contaminación atmosférica

Al interpretar los estudios que examinan la relación entre cambio climático, contaminación atmosférica y salud hay que tener en cuenta varios factores que pueden confundir el estudio de su asociación con indicadores de salud. Estos factores son los siguientes: a) los determinados por los ciclos geofísicos, b) los meteorológicos y c) los socioculturales, como por ejemplo el patrón de vida determinado por el día de la semana.

La magnitud de la influencia en la morbilidad variará según la proporción de individuos susceptibles, como sucede en las áreas

desfavorecidas con poblaciones vulnerables y con acceso limitado a la atención sanitaria. Además, se estima que los impactos del clima en los individuos con enfermedades respiratorias variarán en función del aumento relativo de la temperatura en comparación con la actual, de los cambios a corto plazo en la contaminación transfronteriza del aire a gran distancia, del riesgo de producción de olas de calor, de la presencia de fenómenos climáticos extremos, la contaminación atmosférica, de los niveles de alérgenos, de granos de polen y esporas.

En España, las emisiones a la atmósfera relacionadas con el cambio climático pueden agravar los efectos de la contaminación del aire en la salud de los ciudadanos; de manera inmediata, por los efectos directos provocados por el incremento en las concentraciones de los contaminantes y por tanto, el consiguiente aumento de sus efectos en la salud.

3.4. Influencia de las condiciones meteorológicas en la producción y liberación de polen y esporas

El calentamiento global parece estar afectando la fisiología, fenología y distribución de las plantas y animales. En cuanto a las plantas, se vienen observando cambios en la fecha de floración y su intensidad en ciertas especies, algunas de ellas con interés alérgico (Cecchi et al. 2010). Por un lado, un aumento de temperaturas, especialmente de las invernales, provoca un adelanto de la floración de algunas especies de floración primaveral en especies leñosas, alargando su estación polínica, por lo que los pacientes que sufren polinosis se exponen durante un periodo de tiempo más prolongado (Galán et al. 2005; García-Mozo et al. 2006; Stach et al. 2007; García-Mozo et al. 2010; Orlandi et al. 2012). Por otro lado, las especies herbáceas son más sensibles a la disponibilidad de agua, precipitación y fotoperíodo. Se ha observado que las especies que florecen en primavera temprana son más sensibles por el calenta-

miento global que las especies que florecen en primavera tardía (García-Mozo et al. 2010).

Por otro lado, un aumento del CO₂ atmosférico favorece la actividad biológica de las plantas y la fotosíntesis, observándose un incremento de la intensidad de la floración y, por tanto, un aumento en el contenido de polen en la atmósfera de plantas anemófilas (Cecchi et al. 2010; Ziello et al. 2012; Ziska et al. 2011). Los eventos extremos pueden causar asimismo, problemas de alergia. En el caso de lluvias torrenciales se han observado problemas de alergia polínica provocadas por una mayor emisión de aeroalérgenos desde los granos de polen, al estar sometidos a una situación de estrés (D'Amato et al. 2010).

Estos resultados se han puesto de manifiesto en el informe de “Evaluación preliminar de los Impactos en España del Cambio Climático”, especialmente en el capítulo dedicado a la Biodiversidad Vegetal, donde se informa de impactos directos en la fenología de las

plantas y migración, además de la interacción con otros componentes del cambio global (Fernández-González et al. 2005).

Estos resultados ponen en evidencia una mayor exposición a los granos de polen aerovagantes y aeroalérgenos, por su estación polínica más prolongada, su mayor producción de polen y por estar la población más expuesta al polen de posibles plantas invasoras.

4. Población vulnerable

Como se ha comentado anteriormente, la mayor parte de la población está expuesta a la contaminación atmosférica, y de manera particular las personas que residen en las ciudades. Cuando los efectos son menos graves, el número de personas afectado es mayor, existe una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población a riesgo afectada (*figura 21*).

Impactos previsible del cambio climático

- Existe un creciente reconocimiento internacional de la importancia de abordar la contaminación del aire y el clima de forma simultánea.
- Las concentraciones de contaminantes atmosféricos están influenciadas por múltiples factores: viento, temperatura, topografía, actividad humana, interacción de los patrones climáticos locales así como medidas de adaptación puestas en marcha.
- La posible modificación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos debidos al impacto del cambio climático para los gases de efecto invernadero se traduciría en el incremento de la temperatura ambiente y los consiguientes cambios macroecológicos.
- La posible modificación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos debidos al impacto del cambio climático para otros gases (mercurio gaseoso, ozono y compuestos orgánicos semivolátiles, y partículas) favorecería su formación y/o emisión.
- El aumento de temperatura se correlaciona muy directamente con el incremento en las concentraciones de ozono que presenta *per se* una elevada estacionalidad anual.
- El cambio climático puede afectar también los modelos de dispersión y transporte de los contaminantes atmosféricos.
- El aumento de temperaturas invernales provoca un adelanto de la floración de algunas especies de floración primaveral, alargando su estación polínica, por lo que aumenta el tiempo de exposición.

Figura 21. Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud



Fuente: Tenías et al. 1999

No obstante existen grupos de población que por otras razones, entre otras las biológicas, se consideran susceptibles.

Diferentes estudios han mostrado que los ancianos, las personas de salud comprometida que padecen bronquitis crónica, asma, enfermedades cardiovasculares y/o diabetes y los niños, se encuentran entre los grupos más vulnerables (Bateson y Schwartz 2004), así como las embarazadas y las personas de edad avanzada que padezcan alguna enfermedad crónica. Algunos estudios realizados en la ciudad de Madrid indican un fuerte impacto de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la mortalidad diaria para el grupo de mayores de 75 años (Jiménez et al. 2009) y muestran una asociación estadísticamente significativa con los ingresos hospitalarios para ese mismo grupo de edad (Linares y Díaz 2010).

En el caso de la contaminación por O_3 , el grupo de personas de mayor riesgo serían los niños, los jóvenes y los adultos, por pasar más tiempo en el exterior de los edificios. Si además estas personas se encuentran realizando un ejercicio intenso (deporte, trabajo, juego) se incrementa el riesgo al aumentar la frecuencia e intensidad respiratoria.

Existe también un riesgo mayor relacionado con la contaminación atmosférica para las personas que trabajan al exterior o en lugares expuestos a intensas inmisiones de contaminantes, como por ejemplo, en calles con mucho tráfico o determinadas industrias.

Por otro lado, las mujeres constituyen un colectivo de riesgo durante la gestación, dados los efectos en la salud del feto como consecuencia de la exposición a contaminación atmosférica de la madre y especialmente en el ámbito rural al estar expuestas a contaminantes fotoquímicos (Estarlich et al. 2011).

Los niños, tal y como se ha comentado, constituyen un grupo de riesgo especial porque su sistema respiratorio no se encuentra desarrollado completamente, las vías aéreas y los alvéolos se están desarrollando todavía, pasan más tiempo en el exterior y respiran más aire por unidad de peso que los adultos (Schwartz 2004). También hay que tener en cuenta que, por ser la exposición en edades tempranas, los posibles efectos en salud van a tener más tiempo de vida para manifestarse, y, caso de ocurrir, el daño será mayor en términos de años de vida perdidos o años con discapacidad. Algunos estudios apoyan la hipótesis de que la exposición temprana de la contaminación del aire puede aumentar el riesgo a infecciones del tracto respiratorio superior e inferior en niños (Aguilera et al. 2012).

Es importante considerar el impacto potencial de las exposiciones a la contaminación atmosférica durante la gestación y la primera infancia. En una revisión sobre este tema, se muestran resultados que indican una asociación entre la exposición a la contaminación atmosférica con el bajo peso al nacer, retraso en el crecimiento intrauterino, así como el impacto de las exposiciones tempranas sobre la salud infantil, incluyendo incremento de mortalidad (Lacasaña et al. 2005). El retraso en el crecimiento intrauterino es una respuesta a un ambiente prenatal adverso y se asocia a un retraso en el neurodesarrollo y a problemas de crecimiento durante la infancia, así como

un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y síndrome metabólico en la etapa adulta. El papel de la contaminación urbana en el neurodesarrollo es actualmente una de las prioridades de investigación. Para las malformaciones congénitas no existen pruebas concluyentes que indiquen causalidad de la contaminación atmosférica, (Sram et al. 2005).

Existen suficientes evidencias de que la exposición a contaminación atmosférica durante el primer año de vida se asocia con un incremento del riesgo de mortalidad infantil de magnitud mayor que el riesgo encontrado para adultos. Para un aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración diaria de partículas (medido como PM_{10}) se asocia un aumento de alrededor del 3% de la mortalidad post-neonatal. En cuanto a la exposición crónica, el mismo aumento en los niveles medios de PM_{10} se asoció con un aumento del 5% en la mortalidad post-neonatal por todas las causas y alrededor de 22% en la mortalidad post-neonatal por causas respiratorias (Lacasaña et al. 2005; Sram et al. 2005).

Hay evidencia de que la contaminación procedente del tráfico urbano afecta negativamente al crecimiento del feto. Concretamente, está asociada a un menor crecimiento de 2 medidas ultrasonográficas indicadoras del tamaño de la cabeza (perímetro craneal y diámetro biparietal) y del perímetro abdominal, así como un menor peso del feto entre las semanas 20 y 32 de gestación. Este estudio indica que para un incremento de aproximadamente $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la exposición a NO_2 , aumento bastante común en grandes ciudades, se produce un descenso del 6,2 % en el crecimiento del perímetro craneal entre las semanas 12 y 20, y un descenso del 4,9 % y del 5,4 % en el crecimiento del perímetro abdominal y del diámetro biparietal, respectivamente, entre las semanas 20 y 32 (Iñiguez et al. 2012).

Los resultados de cuatro trabajos recientes de cohortes de escolares seguidas desde el

nacimiento en Holanda, Suecia, Alemania y Boston indican un aumento del riesgo de padecer asma en los niños con mayor exposición a contaminación atmosférica. Ello coincidiría con los resultados del estudio ISAAC (International Study of Asthma and Allergy in Childhood), en el que participan 1.96 millones de niños de 105 países, que muestra que la prevalencia del asma se relaciona con el mayor tráfico pesado en cualquiera de los países participantes en el estudio.

De modo similar, el estudio californiano Children Health Study ha mostrado, tras seguir más de 10 años varias cohortes de escolares, que el desarrollo de la función pulmonar se ve reducido en aquellos niños y niñas que viven en zonas con mayor contaminación y, sobre todo, cerca de vías con alto tráfico.

En conclusión, la contaminación atmosférica puede ser origen de asma y retraso en el desarrollo de la función pulmonar. La menor contaminación atmosférica conduce a una rápida disminución de la inflamación de las vías respiratorias y a la mejora de la función de las vías respiratorias en los niños asmáticos. La persistencia de situaciones de mala calidad del aire, o su posible empeoramiento, representa un compromiso para la salud de los más pequeños y las generaciones futuras.

El informe presentado de evaluación de carga de enfermedad infantil ante determinadas exposiciones ambientales en Europa, presentado durante la Cumbre Interministerial de Budapest, indicaba que para el grupo de niños europeos de 0 a 4 años, entre un 1,8% y un 6,4% de todas las muertes serían atribuibles a la contaminación atmosférica en exteriores, y el 4,6% a la exposición al aire contaminado en el interior de los edificios.

En relación a los efectos de los aeroalérgenos cabe decir que el asma supone para Europa un gasto aproximado de 17,7 mil millones € anuales, incluyendo el coste de pérdida de productividad, estimado en 10 mil millones de euros anuales.

Distintos estudios han puesto en evidencia el papel que juega el estilo de vida y distintos factores socio-ambientales en los casos de atopía y asma. Hoy en día se ha reconocido el efecto coadyuvante de la polución ambiental sobre el carácter alergénico del polen (Shiraiwa et al. 2012 Annesi-Maesano et al. 2007).

Trabajos llevados a cabo en laboratorio revelan una mayor o menor liberación de ciertos aeroalérgenos, dependiendo de su grado de exposición a distintos contaminantes de la atmósfera. Esto refrenda la idea de que el alto índice de contaminantes en la atmósfera, junto con el constante incremento de partículas polínicas, pueden ser responsables de una mayor frecuencia de procesos alérgicos entre la población urbana.

En España, el Proyecto INMA “Infancia y Medio Ambiente” desarrollado por una red de grupos de investigación pretende, mediante una metodología en común, relacionar las exposiciones pre y postnatales a contaminan-

tes ambientales con los posibles efectos en la salud de los niños, incluyendo su crecimiento y desarrollo.

El proyecto consiste en un estudio de cohortes de base poblacional realizado en diferentes puntos de la geografía española, en el que participan unos 4.000 pares de mujeres y sus hijos a los que se realiza seguimiento durante la gestación y la infancia.

Entre las exposiciones ambientales a estudio se encuentran la evaluación de la exposición a contaminantes atmosféricos durante el embarazo y la infancia y su posible repercusión sobre la salud (Esplugues et al. 2006). Algunos de sus resultados ya se han comentado anteriormente.

En el caso concreto de la salud infantil se observa que existe gran evidencia sobre desigualdades en el marco de la exclusión social y la pobreza. En los últimos años se ha apreciado un interés creciente por el impacto del gradiente social en la salud infantil según

Población vulnerable

- Existe una gradación en la gravedad de las consecuencias en salud y en la población expuesta afectada.
- La mayor parte de la población está expuesta a la contaminación atmosférica, y de manera particular, las personas que residen en las ciudades.
- En el caso de contaminación por ozono, las personas de mayor riesgo serían niños, jóvenes y adultos, por pasar más tiempo en el exterior.
- Los grupos más sensibles:
 - los ancianos
 - las personas de salud comprometida que padecen bronquitis crónica, asma, enfermedades cardiovasculares y/o diabetes
 - los niños
 - las embarazadas
 - y las personas de edad avanzada que padezcan alguna enfermedad
- El mayor índice de desigualdades en salud infantil implica una mayor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático.

la posición social, la educación familiar, el sexo o la etnia. En este sentido el mayor índice de desigualdades en la salud infantil implica una mayor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. En el marco del proyecto INMA se realizó un estudio, con el objetivo de identificar los factores sociales, demográficos y de estilo de vida asociados con la exposición a NO₂. En el estudio participaron 785 mujeres embarazadas que integran la cohorte en Valencia. Los resultados indican que las mujeres más jóvenes, las que proceden de países de América Latina, y las que pertenecen a los estratos sociales más bajos estuvieron expuestas a niveles mayores de NO₂, tanto exterior (medido fuera de sus hogares) como cuando se tomaron en cuenta los patrones de actividad. Estos colectivos también mostraron una mayor probabilidad de estar expuestas a niveles de NO₂ superiores a 40 µg/m³, que es el límite anual para la protección de la salud humana, según lo establecido por la Directiva Europea 2008/50/CE (Llop et al. 2011).

Los escenarios generados por el cambio global son los más complejos, dado que abarcan áreas de por sí ya contaminadas y/o marginadas, donde, además, ahora se presentan nuevos riesgos y necesariamente deben estudiarse de manera simultánea los efectos en humanos y en biota. Por lo tanto, para evaluar estos lugares, se han presentado metodologías conjuntas de evaluación integrada del riesgo en salud y de evaluación de riesgos sanitarios.

En este sentido, nuevos retos como el cambio climático están provocando novedosos escenarios de exposición a factores estresantes (químicos, físicos y biológicos), de ahí que las metodologías de evaluación de riesgo deban adaptarse para estudiar la vulnerabilidad comunitaria, la salud humana y los efectos ecológicos, tanto en eventos de urgencia ambiental como en situaciones a más largo plazo (Ilizaliturri et al. 2009).

5. Repercusiones sobre otros sectores

Para analizar las repercusiones se consideran principalmente aquellas vinculadas a los sectores que constituyen fuentes de emisión directa o indirecta de contaminantes a la atmósfera. Se incluyen también menciones a otros sectores potencialmente afectados por los efectos de la contaminación.

En relación al clima y al cambio global, dado que las emisiones de gases contaminantes comparten origen y/o fuente con los GEI, una reducción en los primeros tendría un efecto beneficioso sobre la emisión de CO₂ y otros gases a la atmósfera que redundaría en una ralentización del calentamiento global.

En el *sector energético*, el uso más eficiente de la energía y la introducción progresiva de energías limpias comportará una reducción en la utilización de combustibles fósiles y, por consiguiente, una reducción en la emisión de SO₂, CO y NO₂. Las acciones para reducir las emisiones de GEI pueden conducir, además, a mejoras en la salud de la población, generando co-beneficios evidentes en la puesta en marcha de iniciativas encaminadas a la eficiencia energética y el uso de energía limpia.

En el *sector agrícola*, se deberá valorar la introducción de especies con gran capacidad alergénica en la agricultura, así como el tratamiento de las mismas, especialmente en los campos de cultivo cercanos a la población. Asimismo, deberá ser tenido en cuenta el posible uso de plaguicidas para la eliminación de especies con capacidad alergénica y su potencial repercusión sobre la salud de las personas, por aplicación directa, exposición ambiental o por vía cadena alimentaria.

La hipótesis de que el consumo de alimentos antioxidantes, con contenido en vitamina C, vitamina E, beta-caroteno, como los cítricos, las zanahorias o los frutos secos, y en general todas las frutas y verduras, tienen un efecto protector frente a los efectos de la contaminación fotoquímica, -en especial el ozono-,

puede llevar a recomendar un aumento en su consumo. Esto tendría una influencia sobre las políticas agrícolas.

En el *sector forestal*, se deberá valorar la presencia de especies con gran capacidad alergénica al igual que en el sector anterior. Existe evidencia de riesgos para la salud por la emisión de partículas y gases por combustión, y por tanto debe llevar a incrementar la protección de los bosques para evitar incendios forestales. Del mismo modo que en el caso del sector energético, el co-beneficio en salud de medidas de protección de la superficie boscosa y prevención de incendios forestales parece evidente.

Merecen especial mención los espacios verdes urbanos, aunque numerosos estudios muestran los beneficios de la vegetación urbana al actuar como una compensación de la contaminación, otros estudios señalan cómo la vegetación de la ciudad puede tener una influencia importante en el contenido de polen en el aire, ocasionando incluso problemas en la salud de los ciudadanos por la producción de granos de polen con capacidad alergénica. Este hecho se ha puesto de manifiesto en diferentes artículos científicos que recomiendan valorar la presencia de especies con capacidad alergénica en los diseños de espacios verdes urbanos (Cariñanos & Casares-Porcel 2011; Staffolani et al. 2011).

Por otro lado, las intervenciones encaminadas a conseguir un aire más limpio y un ambiente más sano, junto con modelos de buena práctica ambiental, puede ser un atractivo para el sector turístico, fomentando un turismo de calidad y ecológicamente sostenible.

En el *sector de la salud*, y de modo parcial, ya que no se incluyen aquí aspectos relativos a la asistencia sanitaria, ni valoraciones sobre las políticas de protección y promoción de la salud, cabe detenerse en algunos de los efectos beneficiosos de las políticas de mitigación.

En un artículo publicado con las discusiones acerca del tratado de Kyoto sobre el grupo de trabajo en Salud Pública y Combustión Fossil-Fuel, se presentaron los resultados de una evaluación sobre el impacto en salud que tendría la adopción de políticas de control de las emisiones, es decir, sin esperar a ver las consecuencias de la mitigación del cambio climático (Working Group on Public Health and Fossil-Fuel Combustion 1997). En dicho trabajo se compara lo que podría ocurrir ante una exposición a partículas en suspensión, si las políticas energéticas mundiales continuarán como se venían ejecutando hasta 1997, o cambiaran hacia un nuevo escenario de políticas de control de las emisiones, tratando de evitar el calentamiento global. Como resultado se ha estimado que, teniendo en cuenta las nuevas políticas hacia la reducción de la exposición entre los años 2000 hasta 2020, significaría una reducción de 700.000 muertes anuales (Ballester et al. 2006). Solo en Estados Unidos el número de muertes evitables equivaldría a las muertes asociadas al sida o a todas aquellas causadas por las enfermedades hepáticas.

Se calcula que se evitarían 458.000 muertes, un 0,5% del total previsto para el año 2030, si se utilizaran todas las tecnologías y esfuerzos para el control de emisiones. Dichos resultados se verían afectados significativamente por el umbral utilizado y por el riesgo relativo de la mortalidad diaria aguda por ozono (West et al. 2007).

Estos resultados ilustran los beneficios que a escala local y a corto plazo supondrían las políticas de reducción de las emisiones de gases que provocan el calentamiento global. Estas cifras, sin embargo, deben ser valoradas con precaución y tomadas únicamente como indicativas, dadas las asunciones y dudas existentes a la hora de realizar las estimaciones. No obstante, queda demostrado que el uso de fuentes renovables de energía puede ayudar en el proceso de reducción de las emisiones, al tiempo que pueden consti-

tuir una fuente asequible de energía para un número importante de población que ahora no tiene acceso a energías limpias.

Paradójicamente el sector de la salud es uno de los más demandantes de energía dentro del sector público y como consecuencia posee una de las más altas tasas de emisión de gases a la atmósfera. Si bien es cierto que los centros hospitalarios no se pueden privar de estos recursos, también es verdad que una apuesta clara y contundente del sector de la salud por desarrollar programas que favorezcan el ahorro energético, puede disminuir de forma considerable las emisiones de GEI a la atmósfera. Hay que destacar el impacto social que la intervención del sector salud supondría sobre la concienciación de los individuos ante la necesidad de luchar contra el cambio climático. En la mayoría de los países, el sistema sanitario es percibido como una institución necesaria al servicio de la sociedad con una alta influencia y capacidad de persuasión sobre ésta. El sector sanitario debe desempeñar una tarea de liderazgo social en la mitigación del calentamiento global y en la adopción de prácticas sostenibles.

Por otro lado, las estrategias de transporte, medio ambiente y salud, con la promoción del uso de la bicicleta y caminar como medio de transporte, comportará un incremento del ejercicio físico moderado en un gran segmento de la población con hábitos de vida sedentarios, que tendrá una repercusión favorable sobre su salud.

En 2009 se realizó una estimación de los beneficios en salud y económicos de dos escenarios de mejora de la calidad del aire ambiental en 57 municipios del área metropolitana de Barcelona (Pérez et al. 2009). Para ello se usaron fracciones atribuibles y tablas de vida, se cuantificaron los beneficios para indicadores de salud seleccionados, basándose en funciones de concentración-respuesta y en unidades monetarias publicadas. La concentración media ponderada de PM_{10} para

la población del estudio se obtuvo mediante mapas de concentraciones desarrollados por las autoridades locales.

Los beneficios anuales de reducir la exposición media a PM_{10} estimada para la población del área de estudio ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) al valor anual medio recomendado por la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se estimaron en 3.500 muertes menos, representando de media un aumento de la esperanza de vida de 14 meses, 1.800 ingresos hospitalarios menos por causas cardiorrespiratorias, 5.100 casos menos de bronquitis crónicas en adultos, 31.100 casos menos de bronquitis agudas en niños y 54.000 crisis asmáticas menos en niños y adultos.

Los beneficios económicos totales se estimaron en una media de alrededor de 6.400 millones de € anuales. Reducir las PM_{10} al nivel anual medio legislado por la UE ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) representaría aproximadamente una tercera parte de estos beneficios.

6. Principales opciones adaptativas

Como establece la Comisión de Economía de Naciones Unidas para Europa, tanto la comunidad científica como los políticos no deberían seguir tratando la contaminación atmosférica y el cambio climático como problemas distintos, dado que ambos están estrechamente relacionados y son, en su mayor parte, debidos al incremento en el uso de combustibles fósiles.

El problema se puede abordar desde la mitigación y la adaptación al cambio climático, con las modificaciones que se producirán en los niveles de algunos contaminantes atmosféricos.

La medida más importante de mitigación es la disminución de las emisiones de gases contaminantes. Este hecho comporta la puesta en marcha de estrategias en el sector del transporte, urbanístico e industrial, con el uso eficiente de la energía y la utilización progresiva de energías renovables.

Esta medida debería complementarse con actuaciones encaminadas a la educación para la salud y a la promoción de hábitos saludables, incluido el uso eficiente y responsable de la energía y recomendaciones para aumentar la protección de los ciudadanos (por ejemplo en los días con altos niveles de ozono).

Otras medidas serían la puesta en marcha de programas encaminados a reducir los riesgos producidos por los incendios forestales y a reducir la exposición a polen alergógeno.

En relación a las emisiones, en la actualidad se han puesto en marcha instrumentos legales y recomendaciones para limitar y disminuir el volumen de emisiones contaminantes.

Los esfuerzos que los estados miembros de la UE han realizado, se han traducido en una disminución de la mayoría de contaminantes emitidos a la atmósfera entre 2001 y 2010. Por contaminantes se presentan los últimos datos incluidos en el informe de 2012 de Calidad de Aire en Europa (tabla 23).

En términos de adaptación, las principales opciones que se proponen internacionalmente incluyen el establecimiento de un sistema de vigilancia de calidad del aire y de alerta temprana a la población ante situaciones de incremento de los niveles de aeroalérgenos, polen o esporas, incluyendo información meteorológica.

Países miembros, entre ellos España que ha incorporado en su legislación la normativa europea, facilitan el cumplimiento de los valores establecidos.

Recientemente en España se ha aprobado el Plan AIRE (Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera 2013-2016) que pretende, con la colaboración de las administraciones autonómicas y locales implicadas, impulsar medidas que actúen ante los problemas de calidad del aire más generalizados en nuestro país. Su objetivo principal es mejorar la calidad del aire, de modo que a su vez, se proteja la salud de las personas y el medio ambiente. Para ello se aprueban medidas horizontales y sectoriales. Las medidas horizontales deben servir para mejorar, en general, determinados aspectos relacionados con la calidad del aire, actuando sobre la información, concienciación, administración, investigación y fiscalidad. Las medidas sectoriales, en cambio, van dirigidas a sectores implicados en la emisión de contaminantes, como el industrial, construcción, transporte, forestal, agricultura y ganadería o el sector residencial, comercial e institucional. Estas medidas vienen a complementar los planes de actuación aprobados para cada zona o aglomeración que presenta incumplimientos.

Un aspecto relevante a destacar es la pertinencia de enfatizar la participación ciudadana. Se debería fomentar el desarrollo de una concienciación en salud y calidad del

Tabla 23. Reducción (%) en emisiones de contaminantes entre 2001-2010 en UE

Contaminante	Reducción	Metales pesados	Reducción
PM ₁₀ primarias	14%	Arsénico	4%
PM _{2,5} primarias	15%	Cadmio	30%
Óxidos de azufre	54%	Mercurio	30%
Óxidos de nitrógeno	26%	Níquel	41%
Amoniaco	10%	Plomo	36%
CO	33%		
BaP	Incremento del 14%		

Fuente: tomado de Air quality in Europe -2012 report. EEA 2012

aire entre la población, y asegurar una participación comunitaria activa en la determinación de los problemas y necesidades, así como en los procesos de planificación y acción. Dado que los problemas de salud de naturaleza ambiental, están conectados con el patrón de desarrollo en nuestro país (el uso de energía eléctrica, de agua de consumo humano, la urbanización, el uso de vehículos privados como modo de transporte principal en ciudades,... etc.), su solución depende de cambios importantes en los estilos de vida que afectan a amplios sectores de la población.

Otras actuaciones dirigidas a profesionales de la salud, además de programas encaminados a enfrentar los eventos climáticos extremos, entre otros, se consideran eficaces para la minimización del impacto del cambio climático (Sunyer 2010).

En definitiva, los procesos y medidas futuras deben proponerse en base a la contribución de todos los sectores y ámbitos, y han de considerar los aspectos legislativos y reguladores, el conocimiento científico y técnico, la incorporación efectiva de la sociedad civil y particularmente de los consumidores. Estas propuestas deben dirigirse hacia el fomento de tecnologías limpias, la reducción del uso y consumo de combustibles fósiles y la introducción y sustitución progresiva hacia energías y productos menos contaminantes.

7. Principales incertidumbres y desconocimientos

Existen una serie de incertidumbres generales acerca del proceso de cambio climático y sus proyecciones. Respecto a los efectos en salud de la contaminación atmosférica y su relación con el cambio climático existen incertidumbres específicas para las que hay que tener en cuenta dos importantes elementos que pueden determinar el impacto en el futuro:

- Los escenarios futuros de emisiones: para la valoración y predicción de emisiones, se podrían considerar las estimaciones del crecimiento económico y/o poblacional, además de la estimación del cumplimiento de las restricciones establecidas por la legislación. En ambos casos es muy complejo realizar las estimaciones. La evolución de las emisiones de GEI en España, en contra de lo inicialmente previsto, ha sobrepasado lo acordado por el gobierno español en relación al cumplimiento del tratado de Kyoto.
- La sensibilidad y vulnerabilidad de la población: la tendencia en nuestro país se dirige hacia un envejecimiento de la población que redundaría en un mayor impacto por la vulnerabilidad de las personas de edad avanzada, en las que habitualmente se observa un compromiso del estado en salud. Por otro lado, aún existen lagunas de conocimiento respecto a la estimación cuantitativa del riesgo relacionado con la mayoría de contami-

Opciones adaptativas

Entre las principales medidas adaptativas propuestas internacionalmente se encuentra el establecimiento de un sistema de vigilancia de calidad del aire y de alerta temprana a la población ante situaciones de incremento de los niveles de aeroalérgenos, polen o esporas, así como de niveles de contaminantes atmosféricos y que incluyan información meteorológica.

nantes. Si bien para PM se ha definido una relación lineal concentración-respuesta, se conoce menos la naturaleza de la relación con otros contaminantes. Se considera especialmente necesaria la generación de evidencia sobre los impactos del ozono en la salud, dado su previsible aumento, al menos en forma episódica, con el cambio climático.

Aún persisten incertidumbres acerca de la sensibilidad, es decir la tasa de cambio en la variable resultado por unidad de cambio en la variable exposición, de la asociación entre contaminantes atmosféricos.

8. Detección del cambio

8.1. Contaminación atmosférica, salud y cambio climático

La detección y atribución de los efectos del cambio climático sobre la salud requieren el establecimiento de un sistema de monitorización para detectar los efectos tempranos, tal y como se recomienda por parte de organismos internacionales. Este sistema debe proporcionar datos meteorológicos, ambientales, de salud y demográficos de buena calidad. Los datos de salud candidatos a formar parte de dichos sistemas deberían cumplir los siguientes principios:

- Evidencia de sensibilidad a los cambios climáticos.
- Relevancia para la salud pública por la carga de enfermedad que representa.
- Factibilidad en la recogida de la información.

En nuestro país no existe un sistema de vigilancia epidemiológica de los efectos de la contaminación atmosférica. En la actualidad

se dispone de diversos programas de monitorización de calidad del aire gestionados a nivel central y, mayoritariamente, en las Comunidades Autónomas por los departamentos encargados del medio ambiente. Cabe destacar en este sentido la Ley 34/2007, de noviembre de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, que contempla entre sus objetivos establecer las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar, y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas.

En el año 2011 el entonces Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino (MARM) publicó el Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire, tratando de apoyar el cumplimiento de los VL de PM₁₀ y NO₂, y la reducción simultánea de precursores de ozono.

Con la aprobación en 2013 del Plan AIRE, el MAGRAMA contempla impulsar desde la Administración General del Estado (AGE) las actuaciones en materia de calidad del aire para complementar los planes de actuación vigentes impulsados por otras administraciones públicas y garantizar el cumplimiento de la legislación nacional, europea e internacional.

Asimismo pretende favorecer la reducción de los niveles de emisión a la atmósfera de los contaminantes más relevantes y con mayor es impactos sobre la salud y los ecosistemas, especialmente en las áreas más afectadas por la contaminación, fomentar la concienciación de la ciudadanía, y mejorar la información disponible sobre calidad del aire.

Una tarea pendiente es la adecuada integración de las redes de calidad del aire con los sistemas de alerta y los servicios de salud pública. Esta acción debería ser abordada en el futuro próximo en nuestro país, para la detección de efectos ligados al cambio climáti-

co y otros análisis de efectos en salud de la población por contaminación atmosférica.

Un sistema de vigilancia de esta naturaleza debería incluir información diaria de los niveles de contaminación atmosférica, del contenido de partículas biológicas en el aire que puedan causar problemas de alergia, de las variables meteorológicas además de variables sanitarias y poblacionales como defunciones (total y por causa específica) y morbilidad medida a través de ingresos hospitalarios por causas cardiovasculares y respiratorias. Entre las metodologías posibles de implantación de este tipo de sistema cabe considerar la elección de servicios sanitarios centinela. En el ámbito europeo ya existen grupos de trabajo en esta materia como el creado por la agencia francesa de Normalización (AFNOR).

Para cumplir con los objetivos de un sistema de vigilancia éste debería generar información oportuna y representativa que permitiera su uso en la planificación, desarrollo y la evaluación de las acciones de salud pública.

Una alternativa, complementaria a la anterior, consiste en llevar a cabo evaluaciones periódicas de los impactos en salud de la contaminación atmosférica y su posible relación con el cambio climático, como la realizada en el programa APHEIS (2001-2002) ya mencionado.

8.2. Conocimientos, actitudes y prácticas

Según los datos obtenidos en el último Eurobarómetro *“Actitudes de los europeos hacia la calidad del aire”*, más de la mitad de la población (56%) ha percibido un deterioro ambiental en los últimos diez años.

Respecto a las enfermedades relacionadas con la calidad del aire, como las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, casi

nueve de cada diez europeos creen que son un problema grave.

Un 85% de los europeos está de acuerdo con el principio de "quien contamina, paga", a fin de que aquellos que contaminan deban pagar por el coste de los efectos negativos en la salud y el medio ambiente.

Al consultar sobre la manera más eficaz de luchar contra la contaminación atmosférica, el 43% sugiere unos controles más rigurosos de las emisiones de la producción industrial y energética. Las emisiones de los vehículos (96%), la industria (92%) y el transporte internacional (86%) se consideran las de mayor incidencia en la contaminación atmosférica.

Respecto a las medidas que deben abordarse para mejorar la calidad del aire, la población considera como prioritarias aquellas relacionadas con el fomento del transporte público, del uso de la bicicleta o caminar (63%) y la sustitución y utilización de equipos más eficientes desde el punto de vista de emisiones (54%).

Casi cuatro de cada cinco encuestados (79%) creen que la UE debe proponer medidas adicionales para hacer frente a la contaminación atmosférica. En la encuesta se consultó sobre el conocimiento de la legislación de calidad del aire en la UE y los VL que incluye para la protección de la salud, así como sobre los VL para las emisiones. De aquellos que conocían estos instrumentos (25% en ambos casos), más de la mitad opinó que deberían ser más rigurosos.

Casi seis de cada diez europeos no se sienten informados sobre la calidad del aire en su país (59%). En España, al menos una cuarta parte de los encuestados dicen que no se sienten informados sobre los problemas de calidad del aire (31%), a pesar de los esfuerzos de las administraciones públicas por hacer acces-

ble esta información de forma rápida para la población. Los resultados de esta encuesta se incorporarán a la revisión en curso por la Comisión de la Política de la UE sobre la Calidad del Aire, prevista para el segundo semestre de 2013.

Según datos obtenidos en la encuesta sobre Medio Ambiente (II) del CIS (International Social Survey Program), a pesar de la escasa información que la población tiene sobre los principales problemas medioambientales que le afectan, la contaminación atmosférica de las ciudades es percibida por la población española como un problema ambiental muy importante, como lo manifiestan siete de cada diez españoles (*tabla 24*). Este hecho se atribuye en parte a la campaña mediática que se lanzó en España durante los episodios de contaminación a principios de 2010.

Por otro lado, la contaminación atmosférica constituye para la ciudadanía española el principal problema ambiental a nivel global y a nivel nacional, mientras que a nivel local es desplazado a un tercer puesto por el cambio climático y la escasez de agua. Este hecho se

contradice con la percepción que una parte de la población (33%) tiene sobre la falta de información sobre los problemas ambientales como se ha mencionado anteriormente.

En cuanto a las actitudes y comportamientos, según la *Encuesta de Hogares y Medio Ambiente* realizada en 2008 cuyo objetivo fue investigar los hábitos, pautas de consumo y actitudes de los hogares en relación con los diferentes aspectos del medio ambiente (ahorro energético, reducción del consumo de agua, separación de residuos,...), cabe destacar que:

- En el 96,9% de los hogares españoles se adopta algún hábito para ahorrar agua (ocho de cada diez utilizan lavadoras y lavavajillas a plena carga).
- El acceso a la energía eléctrica es prácticamente universal en los hogares, aunque menos del 1% tiene instalado algún dispositivo de captación de energía solar.

Tabla 24. Principales problemas relacionados con el medio ambiente a nivel local y nacional (%)

Medio ambiente	A nivel local	España
La contaminación del aire	18,9	15,0
Los productos químicos y pesticidas	7,9	8,1
La escasez del agua	10,0	15,2
La contaminación del agua	9,0	8,0
Los residuos tóxicos o atómicos	5,3	7,8
La eliminación de la basura doméstica	8,0	3,8
El cambio climático	14,6	23,3
La modificación genética de los alimentos	8,7	3,3
El agotamiento de nuestros recursos naturales	9,1	11,2
Ninguno de estos	3,8	0,5
N.S.	3,8	3,1
N.C.	0,8	0,7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Encuesta Medio Ambiente (II). CIS, 2010.

- Siete de cada diez disponen de calefacción y el aire acondicionado está disponible en el 35,5% de las viviendas.
- El transporte público es utilizado como medio principal de transporte por el 21,7% de los ciudadanos, mientras que el privado lo usa un 45,3%. Del 30,3% restante, un 1,3% se desplaza en bicicleta, y el resto manifiesta no desplazarse. No obstante los últimos datos del Eurobarómetro revelan que el 75% de los encuestados españoles afirmaron desplazarse en transporte público de manera constante, lo que sitúa a los españoles como los europeos más habituados a utilizar la llamada “movilidad sostenible”.
- Las principales razones que argumentan los ciudadanos que se desplazan en transporte privado para no hacerlo en transporte público son la comodidad (33,6%), la no disponibilidad de servicio (32,4%), la necesidad del vehículo para trabajar o para una actividad posterior (27,3%), la duración del viaje (15,4%) o la poca frecuencia (12,3%). Sólo un 2,8 % alega conciencia medioambiental en su elección del transporte público para sus desplazamientos.

Según los últimos datos del Eurobarómetro la mayoría de los encuestados españoles creen que en los hogares no se está haciendo lo suficiente para promover la calidad del aire (70%). Si comparamos con el resto de Europa, los encuestados en España (37%) son los más propensos a mencionar los cambios de estilo de vida para reducir las emisiones como la prioridad de la nueva estrategia.

Al menos ocho de cada diez encuestados en España (87%) piensa que los poderes públicos no están haciendo lo suficiente para promover la buena calidad del aire. Las medidas propuestas por las autoridades para disminuir las emisiones contaminantes (peajes al tránsito, reducción y/o eliminación

de vehículos en el centro de las ciudades, reducción de la velocidad, compra de vehículos eléctricos y/o más eficientes, etc.), son del todo costosa implementación.

Los datos evidencian que existe un amplio margen para mejorar la situación. Además de incrementar los recursos es especialmente importante erradicar comportamientos y actitudes perjudiciales para el medio ambiente. Se hace necesario, por tanto, ofrecer mayor información y formación a la ciudadanía.

9. Implicaciones para las políticas

La contaminación atmosférica es una preocupación y objeto de atención por los gestores y responsables políticos como queda reflejado en diversas iniciativas internacionales de naturaleza multisectorial. A modo de ejemplo, en la 5ª Conferencia Ministerial de Medio Ambiente y Salud, se incluyeron objetivos en calidad del aire en la Declaración de Parma, emanada de dicha conferencia.

Esta estrategia inicialmente contemplaba objetivos a alcanzar en 2020 y planteaba reducciones clave en emisiones para conseguirlos.

En 2001 la Comisión Europea lanzó el programa Aire Puro para Europa (CAFE), cuyo objeto fue elaborar una estrategia integrada y proyectada a largo plazo. Además se cuenta con directivas europeas relativas a la calidad del aire, algunas ya mencionadas, vigentes y traspuestas a la legislación nacional en el mencionado Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, (Directiva 2004/107/EC y Directiva 2008/50/EC). Esta última incluye límites temporales para la consecución de valores de referencia de la mayoría de contaminantes. Una cuestión particular es la no inclusión en la Directiva 2008/50/CE de regulación de los ambientes de interior así como la no inclusión de los aeroalérgenos (Galán 2008).

En nuestro país, el Plan AIRE contempla un horizonte temporal que transcurrirá desde 2013 a 2016. En este sentido, la aprobación, puesta en marcha y ejecución de este Plan será la principal implicación en política de calidad de aire en nuestro país.

Algunas de las conclusiones más relevantes emitidas por la red AIRNET, red financiada por la UE y creada para recoger, interpretar y diseminar los resultados de la investigación en contaminación atmosférica y salud en Europa, son relativas a la evaluación y control de la calidad del aire, la reducción de la contaminación atmosférica en las ciudades y la vigilancia en salud pública de la calidad del aire (Ballester et al. 2007).

En relación a la evaluación y control de la calidad del aire, cabe destacar en materia de implicación para las políticas nacionales e internacionales las siguientes propuestas:

- Establecer un sistema de certificación de idoneidad de instalación y/o ubicación de estaciones de medida, que incluya la elaboración de protocolos precisos con indicaciones para la instalación, la definición de los objetivos de medida con criterios de exposición de la población y la adecuada caracterización del tipo de estación de tráfico, fondo urbano, suburbanas, industriales, puntos calientes (hotspots), rural, etc.
- Evaluar los escenarios de exposición urbana predominante en España para la planificación de redes y estaciones adecuadas a la naturaleza de la medida pertinente. Los antecedentes en nuestro país indican una proporción muy superior de estaciones en puntos calientes con respecto a la media de los países que conforman la UE-25 (70-80%, respecto a 45% de media), debido al carácter inicial de la legislación que buscaba medir en los puntos con las mayores concentraciones posibles. En los últimos años se ha procedido a una recolocación de las estaciones

para que cumplieran los criterios de macro y microimplantación de la legislación actual que determinen los contaminantes en estaciones de fondo urbano. Estos cambios han sido muy cuestionados por ONG's, asociaciones ecologistas, grupos ciudadanos y otros colectivos (científicos, sanitarios, etc.). Sin embargo, es importante que la red de estaciones de calidad del aire mantenga una serie de estaciones y/o mida los contaminantes "clásicos" de forma que no se pierda el histórico de datos de los mismos.

- Garantía de calidad de las mediciones que aseguren la comparación entre redes de calidad del aire incluyendo las estaciones de titularidad privada (centrales térmicas, industriales, etc.).
- En relación a las partículas, se debería considerar en el análisis de sus concentraciones, tanto su correlación con los contaminantes gaseosos antropogénicos como las emisiones naturales, particularmente para PM_{2.5}.
- Además, se debería tener en cuenta la gran presencia del ozono en la zona mediterránea por las condiciones geográficas y climáticas, que favorecen la generación de episodios simultáneos de contaminación fotoquímica y de partículas.
- Revisión de los VL de PM₁₀ y favorecer el desarrollo de tecnología que permita alcanzar el objetivo marcado actualmente, en especial en los puntos calientes.
- Promover tanto la información pública de los datos de calidad del aire y de emisión, como la puesta en marcha de acciones encaminadas a la inclusión en el currículo de educación primaria y secundaria de la contaminación atmosférica y su impacto.

En cuanto a las medidas para la reducción de la contaminación atmosférica en las ciudades, se contemplan una batería que incluye:

- La promoción de estilos de vida más saludables y de espacios abiertos urbanos, así como el aumento del número de zonas verdes y una mayor información a la población sobre la contaminación y los efectos en la salud que proporcione medida en tiempo real y previsiones.
- La aplicación de estrategias de movilidad sostenible, la planificación del transporte urbano, la mejora del transporte público en términos de calidad, frecuencia, precios competitivos y uso de tecnologías limpias. Al mismo tiempo actuar sobre la planificación del tráfico potenciando las circunvalaciones, el incremento de zonas peatonales, la restricción del tráfico y/o la prohibición de la circulación de camiones en las ciudades que han demostrado una gran repercusión positiva. Una medida de especial relevancia para el transporte público, escolar y en vehículos pesados de servicios urbanos, es la aplicación de tecnologías específicas como EGR (recirculación de gases de emisión), catalizadores oxidantes y de reducción selectiva y filtros trampa para partículas. Además, convendría investigar las posibilidades del lavado de firme rodadura en períodos con bajos niveles de precipitación.
- En cuanto al transporte individual se propone incentivar el cambio a vehículos que empleen tecnologías limpias, utilizar instrumentos como la inspección técnica de vehículos para la detección y control de emisiones.
- La aplicación de medidas técnicas para reducir las emisiones de COV, NO_x, y componentes que originan material particulado, así como potenciar el cambio en los sistemas de calefacción de edificios hacia tecnologías y combustibles menos contaminantes y el desarrollo de buenas prácticas ambientales en zonas portuarias, parques, actividades de demolición, construcción, etc.
- En relación a la industria se propone un mayor control y medición de las emisiones industriales y la promoción de tecnologías limpias de NO_x y de SO_x en focos próximos a las ciudades.
- Evitar el uso de especies en los jardines y parques públicos que puedan ocasionar problemas en la salud, bien por su toxicidad o por la producción de granos de polen con capacidad alergógena, apostando por la biodiversidad y el uso de plantas, la introducción de especies autóctonas y entomófilas, y la utilización ejemplares femeninos, cuando sea posible.

En materia de vigilancia en salud pública, se deberá avanzar en el proceso de cambio de modelo de vigilancia epidemiológica centrada en la enfermedad a vigilancia en salud pública, que incorpora el seguimiento de factores de riesgo como la contaminación atmosférica. Para ello, se requiere la integración de información de diferentes ámbitos, la definición de los plazos y tiempos de seguimiento así como de los objetivos y los mecanismos de intervención.

En el corto plazo se propone la monitorización/vigilancia de la calidad del aire con criterios de salud pública, orientada a la protección de la salud y la prevención de la enfermedad.

A medio plazo se propone el seguimiento de la evolución temporal y espacial de los parámetros de calidad del aire así como la realización de evaluaciones periódicas de los impactos sobre la salud que proporcionen estimaciones de los beneficios para la salud pública de las medidas adoptadas.

Por otro lado, sería de interés la incorporación y utilización de biomarcadores de exposición para evaluar la exposición de grupos específicos de población, como los niños. Para ellos, en tanto grupo vulnerable deben aplicarse todos los mecanismos posibles para disminuir el impacto en su salud, como se propone desde el CEHAPE (Children's Environment and

Health Action Plan for Europe), liderado por la OMS. Además, se propone la definición de políticas específicas para la población infantil que cuenten con la implicación de todos los sectores relacionados.

Los resultados de estudios han de trascender el ámbito del sector salud y llegar a los responsables de otros sectores cuyas decisiones influyen en la salud y en los factores de riesgo medioambientales como la contaminación atmosférica así como a los ciudadanos. La mejora en la calidad del aire sólo es posible si se aplican criterios de transversalidad, intersectorialidad, interdisciplinariedad y participación, principios incluidos en la estrategia de Salud en todas las políticas de la UE adoptada también por España.

Aunque existen aspectos de la relación entre contaminación y salud que requieren una mayor investigación, como se verá más adelante, las evidencias acumuladas son suficientes para actuar de manera más decidida, tal como se ha propuesto en algunas reuniones de consenso. Por último, merece la pena reiterar la opinión actualmente generalizada en la comunidad científica de la pertinencia de abordar de modo conjunto el cambio climático y la contaminación atmosférica.

10. Principales necesidades de investigación

La inversión en estudios e investigaciones es necesaria para reducir las incertidumbres relevantes para la toma de decisiones.

Hay acuerdo general en que la investigación sobre los posibles impactos del cambio climático en salud debería realizarse desde una perspectiva internacional, mediante una red de científicos. Por una parte ya que se trata de situaciones a escala mundial, que no

conocen fronteras, y por otra, para garantizar al máximo el intercambio de información que permita valorar las diferencias en las situaciones ambientales, sociodemográficas y de salud entre las distintas localizaciones geográficas y entre poblaciones.

En el campo de los efectos de la contaminación atmosférica relacionados con el cambio climático, las necesidades fundamentales son:

- Establecer sistemas de vigilancia y monitorización que incluyan información meteorológica, ambiental, de salud y sociodemográfica adecuada, con el fin de detectar cambios tempranos, generar conocimiento y tomar decisiones en salud pública.
- Realizar estudios epidemiológicos para valorar los impactos en salud del ozono, partículas PM_{2,5}, alérgenos y otros contaminantes relacionados con la variabilidad climática y sus tendencias, que aporten evidencia sobre los efectos de dichos contaminantes incluyendo la relación dosis-respuesta y los factores modificadores de su efecto (mayor susceptibilidad en unos grupos de personas, factores protectores).
- Investigar los mecanismos de acción por los que los diversos contaminantes generan daño pulmonar, cardiorrespiratorio (cambios en resistencia vascular y ritmo cardíaco, inflamación pulmonar, aumento de la coagulabilidad...), etc.
- Valorar y evaluar los posibles beneficios en salud de las acciones de mitigación del cambio climático.
- Desarrollar modelos predictivos que incluyan previsiones sobre las tendencias futuras en contaminación atmosférica, cambios en las características poblacio-

nales y variaciones en los fenómenos meteorológicos y climáticos. Estas predicciones deberían ser validadas de manera continuada, mediante su confrontación con los datos del sistema de vigilancia.

Por su parte, la Red Española de Aerobiología (REA) destaca la necesidad de la utilización de protocolos estandarizados y cuenta con el Manual de Gestión y Calidad de la REA (Galán et al. 2007) y el informe sobre Control de Calidad para la lectura de las muestras por parte de los técnicos implicados en la red (Oteros 2013). Así mismo la European Aeroallergen Network (EAN) propone unas mínimas recomendaciones para trabajar en esta tarea.

Por otro lado, la red AIRNET añade como necesidades de investigación epidemiológica en el marco de la contaminación atmosférica las siguientes (Ballester et al. 2007):

- Utilización de protocolos estandarizados y la utilización de bases de datos validadas y con la suficiente garantía de calidad.

- Valoración de efectos a largo plazo a través del desarrollo de estudios de seguimiento, entendiendo los estudios de cohortes como el diseño de elección. De especial interés es conocer el papel de las exposiciones prenatales en el desarrollo fetal y en la salud del niño.
- Incorporación de información espacial (sistemas de información geográfica) a las variables de exposición y salud, además de examinar posibles asociaciones.
- Caracterización de la exposición a la contaminación según sea individual (patrones de tiempo, actividad y concentraciones en distintos ambientes), ambiental o laboral (conductores, guardias de tráfico, etc.).
- Estudio de posibles factores modificadores, como la temperatura, el uso de aire acondicionado, las condiciones socioeconómicas, factores nutricionales particularmente la dieta y el hábito tabáquico.

➤ Las variables en las que se sustentan las **Principales Incertidumbres** son: los escenarios futuros de emisiones, la temperatura y predicción climatológica, la pirámide de población, las condiciones socioeconómicas, las poblaciones vulnerables y su comportamiento futuro.

➤ Las **Principales Necesidades de Investigación** incluyen:

- La realización de estudios epidemiológicos para valorar los impactos en salud de los contaminantes atmosféricos, sus efectos incluyendo la relación dosis-respuesta y los factores modificadores de los efectos.
- Investigación de los mecanismos de acción por los que los contaminantes generan daños fisiológicos y en los sistemas más sensibles .
- La evaluación de posibles beneficios en salud de las acciones de mitigación del cambio climático.
- El desarrollo de modelos predictivos que incluyan previsiones sobre las tendencias futuras en contaminación atmosférica, los cambios en las características poblacionales y las variaciones en los fenómenos meteorológicos y climáticos.

- Investigación de la composición y las características de las partículas respecto a sus efectos sobre la salud.
- Investigación de los impactos de la contaminación sobre grupos específicos: ancianos, niños, mujeres embarazadas...
- Investigación de la exposición a la contaminación atmosférica en ambientes interiores.

11. Anexo 1

Tabla 25. Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud humana, el medio ambiente y el clima.

LA CALIDAD DEL AIRE EN EUROPA			
Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud humana, el medio ambiente y el clima			
Sustancia contaminante	Efectos en la salud humana	Efectos medioambientales	Efectos climáticos
Material particulado (PM)	Puede ocasionar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares, ataques de corazón y arritmias, afectar al sistema nervioso central y al reproductivo y provocar cáncer. El resultado puede ser muerte prematura.	Puede afectar a los animales de la misma forma que a los seres humanos. Afecta al crecimiento de las plantas y a los procesos del ecosistema. Puede ocasionar daños en edificios. Reduce la visibilidad.	El efecto climático varía dependiendo del tamaño y composición de la partícula: algunas provocan enfriamiento y otras calentamiento. Pueden provocar cambios en los patrones de precipitaciones. Su depósito puede llevar a cambios en el albedo de la superficie.
Ozono (O ₃)	Puede disminuir la función pulmonar, agravar el asma y otras enfermedades pulmonares. Puede acarrear mortalidad prematura.	Daña la vegetación, afecta a la reproducción y crecimiento de las plantas, y disminuye el rendimiento de las cosechas. Puede alterar la estructura del ecosistema, reduce la biodiversidad y disminuye la absorción de CO ₂ por las plantas.	El ozono, gas de efecto invernadero, contribuye al calentamiento de la atmósfera
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	El NO ₂ puede afectar al hígado, pulmón, bazo y sangre. Puede agravar enfermedades pulmonares que provoquen síntomas respiratorios y aumento de susceptibilidad a una infección respiratoria.	Contribuye a la acidificación y eutrofización del suelo y agua, provocando cambios en la diversidad de especies. Actúa como precursor del ozono y PM, con los efectos medioambientales que ello conlleva. Puede provocar daños en los edificios.	Contribuye a la formación de ozono y PM, con los efectos climáticos que ello conlleva.
Óxidos de azufre (SO _x)	Agrava el asma y puede reducir la función pulmonar e inflamar el tracto respiratorio. Puede provocar dolor de cabeza, malestar general y ansiedad.	Contribuye a la acidificación del suelo y superficie del agua. Ocasiona perjuicios en la vegetación y pérdidas en especies locales de sistemas acuáticos y terrestres. Contribuye a la formación de PM con los efectos medioambientales que ello conlleva. Daña edificios.	Contribuye a la formación de partículas de sulfato, enfriando la atmósfera.
Monóxido de carbono (CO)	Puede provocar enfermedad cardíaca y daño en el sistema nervioso y ocasionar dolores de cabeza, mareos y fatiga.	Puede afectar a los animales del mismo modo que a los seres humanos.	Contribuye a la formación de gases de efecto invernadero como el CO ₂ y el ozono.
Arsénico (As)	El arsénico inorgánico es un carcinógeno humano. Puede provocar daños en la sangre, corazón, hígado y riñón. Puede también dañar el sistema nervioso periférico.	Sumamente tóxico para la vida acuática, aves y animales terrestres. En suelos con alto contenido en arsénico disminuye el crecimiento vegetal y el rendimiento de las cosechas. Los compuestos orgánicos del Arsenio son persistentes en el medio ambiente y sujetos a bioacumulación.	Sin efectos específicos.
Cadmio (Cd)	El cadmio, especialmente el óxido de cadmio, es probable que sea un carcinógeno. Puede ocasionar daños en los sistemas reproductivo y respiratorio.	Tóxico para la vida acuática. El cadmio es altamente persistente en el medio ambiente y se bioacumula.	Sin efectos específicos.

LA CALIDAD DEL AIRE EN EUROPA			
Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud humana, el medio ambiente y el clima			
Sustancia contaminante	Efectos en la salud humana	Efectos medioambientales	Efectos climáticos
Plomo (Pb)	Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas, especialmente al sistema nervioso. Puede provocar parto prematuro, problemas en el desarrollo mental y reducción del crecimiento.	Se bioacumula y tiene consecuencias negativas en ambos sistemas terrestre y acuático. Sus efectos en la vida animal incluyen problemas reproductivos y cambios en el aspecto y comportamiento.	Sin efectos específicos.
Mercurio (Hg)	Puede dañar el hígado, los riñones y los sistemas digestivo y respiratorio. Puede también ocasionar daños cerebrales y neurológicos y problemas de crecimiento.	Se bioacumula y tiene consecuencias negativas en ambos sistemas terrestre y acuático. Puede afectar a los animales del mismo modo que a los seres humanos. Muy tóxico para la vida acuática.	Sin efectos específicos.
Níquel (Ni)	Varios compuestos del níquel están clasificados como carcinógenos humanos. Pueden ocasionar reacciones alérgicas en la piel y afectar el sistema respiratorio, inmunológico y de defensa del cuerpo.	El níquel y sus compuestos pueden ser de suma toxicidad aguda y crónica para la vida acuática. Puede afectar a los animales del mismo modo que a los seres humanos.	Sin efectos específicos.
Benceno (C ₆ H ₆)	Carcinógeno humano, puede provocar leucemia y defectos de nacimiento. Puede afectar al sistema nervioso central y a la producción de sangre normal, y puede dañar el sistema inmunitario.	Tiene un agudo efecto tóxico en la vida acuática. Se bioacumula, especialmente en invertebrados. Conduce a problemas reproductivos y cambios en el aspecto y comportamiento. Puede dañar las hojas de cultivos agrícolas y causar muerte en plantas.	Gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento de la atmósfera. También contribuye a la formación de ozono y aerosoles orgánicos secundarios, los cuales pueden tener efectos climáticos.
Benzo(a)Pireno (BaP)	Cancerígeno. Otros efectos pueden ser irritación de los ojos, nariz, garganta y bronquios.	Es tóxico para la vida acuática y aves. Se bioacumula, especialmente en invertebrados.	Sin efectos específicos.

12. Bibliografía

- Aguilera I, Pedersen M, Garcia-Esteban R, Ballester F, Basterrechea M, Esplugues A, Fernández-Somoano A, Lertxundi A, Tardón A, Sunyer J.** Early-life exposure to outdoor air pollution and respiratory health, ear infections, and eczema in infants from the INMA study. *Environ Health Perspect.* 2012 Mar;121(3):387-92. Doi: 10.1289/ehp.1205281. Epub 2012 Dec 4. PubMed PMID: 23221880; PubMed Central PMCID: PMC3621204.
- Amato F, Querol X, Alastuey A, Pandolfi M, Moreno T, Gracia J and Rodriguez P.** Evaluating urban PM10 pollution benefit induced by street cleaning activities. *Atmospheric Environment.* 2009; 43 (29): 4472-4480.
- Andrea L Roberts, Kristen Lyall, Hart JE, Laden F, Just AC, Bobb J F, Karestan Koenen C, Ascherio A y Weisskopf MG.** Perinatal Air Pollutant Exposures and Autism Spectrum Disorder in the Children of Nurses' Health Study II Participants.2013 *Environ Health Perspect;* Doi:10.1289/ehp.1206187.
- Annesi-Maesano I, Moreau D, Caillaud D, Lavaud F, Le Moullec Y, Taytard A,Pauli G, Charpin D.** Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respiratory Medicine.* 2007 Aug;101(8):1721-9. Epub 2007 Apr 17. PubMed PMID: 17442561.
- Ballester F, Tenias JM, Perez-Hoyos S.** Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain. *Journal of Epidemiology & Community Health.* 2001 Jan;55(1):57-65.
- Ballester F, Iñiguez C, Sáez M, Pérez-Hoyos S, Daponte A, Ordóñez JM et al.** Relación a corto plazo de la contaminación atmosférica y la mortalidad en 13 ciudades españolas. *Medicina Clínica (Barc)* 2003; 12: 684-9.
- Ballester F, Michelozzi P, Iñiguez C.** Weather, climate and public health. *Journal Epidemiology Community Health.*2003; 57: 759-760.
- Ballester F, Sáez M, Pérez-Hoyos S, Iñiguez C, Gandarillas A, Tobías A, Bellido J, Taracido M, Arribas F, Daponte A, Alonso E, Cañada A, Guillén-Grima F, Cirera L, Pérez-Boillos MJ, Saurina C, Gómez F, Tenías JM.** The EMECAM project: a multicenter study on air pollution and mortality in Spain: combined results for particulates and for sulfur dioxide. *Occupational Environmental Medicine.* 2004; 59: 300-308.
- Ballester F.** Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública.* 2005; 79:159-176-220.
- Ballester F, Díaz J, Moreno JM.** Cambio climático y salud pública: escenarios después de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto. *Gaceta Sanitaria.* 2006; 20(Supl 1):160-74.
- Ballester F, Querol X, Sunyer J, Medina S, Baldasano J y participantes del Taller AIRNET Barcelona** Situación actual, prioridades de actuación y necesidades de investigación en contaminación atmosférica y salud en España: conclusiones del taller AIRNET de Barcelona. *Gaceta Sanitaria.* 2007; 21(1):70-5.
- Ballester F.** Contaminación atmosférica y salud: acción estratégica en salud pública. *Gaceta Sanitaria.* 2009; 23(3): 198-199.
- Ballester F y Boldo E.** Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de las personas y las poblaciones. *Observatorio DKV de Salud y Medio Ambiente en España.* Contaminación Atmosférica y Salud. 2010. Capítulo 2: 27-30.
- Ballester F, Boldo E, Bellido JB.** Efectos de la contaminación atmosférica en la salud, con especial referencia a PM. En: Querol X,

Viana M, Alastruey A (eds) Bases científico técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad Ambiental. Madrid: CSIC, 2012. ISBN: 978-84-00-09475-1.

- Bateson TF y Schwartz J.** W.H.O. is sensitive to the Effects of Particulate Air Pollution on Mortality? A case-crossover analysis of the effect modifiers. *Epidemiology*. 2004; 15: 143-149.
- Bell ML and Davis DL.** Reassessment of the lethal London Fog of 1952: Novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environmental Health Perspectives*. 2001; 109 (3): 389-394.
- Biggeri A, Bellini P y Terracini B. (eds.)** Meta-analysis of the Italian Studies on Short term effects of Air Pollution. *Epidemiologia & Prevenzione*. 2001; 25(2).
- Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, Luepker R, Mittleman M, Samet J, Smith SC Jr, Tager I;** Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004 Jun 1;109(21):2655-71. Review. PubMed PMID: 15173049.
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA, Peters A, Siscovick D, Smith SC Jr, Whitsel L, Kaufman JD; American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism.** Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010 Jun 1; 121(21):2331-78. Doi: 10.1161/CIR.0b013e3181d8e1. Epub 2010 May 10. Review. PubMed PMID: 20458016.
- Buters JTM, Weichenmeier I, Ochs S, Pusch G, Kreyling W, Boere AJ, Schober W, Behrendt H.** The allergen Bet v. 1 in fractions of ambient air deviates from birch pollen counts. *Allergy*. 2012; 65 (7): 850-858.
- Cabezudo B, Recio M, Sanchez-Laulhé JM, Trigo MM, Toro FJ, Polvorinos F.** Atmospheric transportation of Marijuana pollen from North Africa to the Southwest of Europe. *Atmosph Environ*. 1997; 31(20):3323-3328.
- Cariñanos P, Galán C, Alcázar P, Domínguez E.** Analysis of the Particles Transported with Dust-Clouds Reaching Cordoba, Southwestern Spain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 2004; 46:141-146.
- Cariñanos, P & Casares-Porcel, M.** Urban green zones and related pollen allergy: A review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. *Landscape and Urban Planning*, 2011; 101:205-214.
- Cecchi L, D'Amato G, Ayres JG, Galan C, Forastiere F, Forsberg B, Gerritsen J, Nunes C, Behrendt H, Akdis C, Dahl R, Annesi-Maesano I.** Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology. 2010. *Allergy* 65: 1073-1081.
- Centro de Investigaciones Sociológicas.** Medio Ambiente (II). (International Social Survey Programme) Mayo - Julio 2010. Estudio nº 2.837.
- Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B, Dev Pandey K, Krzyzanowsky M, Künzli N, Gutschmidt K, Pope III CA, Romieu I, Samet JM, Smith K R.** Mortality impacts of urban air pollution. *Urban air pollution*. 2004; Chapter 17.
- Comisión Europea.** Ambient air pollution by mercury (Hg). Position paper. Luxemburg. Office for Official Publications of the European Communities 2002. ISBN 92-894-4260-3.

- D'Amato AW, Palik BJ, Kern CC.** Growth, yield, and structure of extended rotation Pinus resinosa stands in Minnesota, USA. *Canadian Journal of Forest Research*. 2010; 40: 1000–1010.
- Díaz J, García R, Ribera P, Alberdi JC, Hernández E, Pajares MS, Otero A.** Modeling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid, Spain. *Int Arch Occup Environ Health*. 1999 Sep; 72(6):366-76. PubMed PMID:10473836.
- Díaz J y Linares C.** Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes. Observatorio DKV de Salud y Medio Ambiente en España. *Contaminación Atmosférica y Salud*. 2010. Capítulo 1, 16.
- Díaz J, Tobías A, Linares C.** Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality: a case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Environ Health*. 2012; 11:11.
- Directiva 2004/107/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente.
- Directiva 2008/50/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.
- DKV Seguros.** Observatorio DKV de salud y medio ambiente en España. 2010.
- ECODES.** Calidad del Aire y Salud: Monográfico Ciudad y Transporte. 2012.
- Ericksen JA, Gustin M, Schorran D, Johnson D, Lindberg S and Coleman J.** Accumulation of atmospheric mercury in forest foliage. 2003. *Atmospheric Environment* 37: 1613-1622.
- Estarlich M, Ballester F, Aguilera I, Fernández-Somoano A, Lertxundi A, Llop S, Freire C, Tardón A, Basterrechea M, Sunyer J, Iñiguez C.** Residential exposure to outdoor air pollution during pregnancy and anthropometric measures at birth in a multicenter cohort in Spain. *Environ Health Perspect*. 2011 Sep; 119(9):1333-8.
- Esplugues A, Fernández-Patier R, Aguilera I, Iñiguez C, García Dos Santos S, Aguirre A, Lacasaña M, Estarlich M, Grimalte JO, Fernández M, Rebagliato M, Salah M, Tardón A, Torrent M, Martínez MD, Ribas-Fitó N, Sunyer J, Ballester F.** Air pollutant exposure during pregnancy and fetal and early childhood development. Research protocol of the INMA [Childhood and Environment Project] 2006.
- European Environment Agency.** Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator –based assessment. European Environment Agency report 4/2008. ISSN 1725-9117.
- European Environment Agency.** Air pollution by ozone across Europe during summer 2010 Overview of exceedances of EC ozone threshold values for April–September 2010. Agency report 6/2011. ISSN 1725-2237.
- European Environment Agency.** The contribution of transport to air quality. TERM 2012: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. European Environment Agency report 10/2012. ISSN 1725-9177.
- European Environment Agency.** Air quality in Europe – 2012 Report. European Environment Agency report 4/2012. ISSN 1725-9177.
- Ezzati M, López AD, Rodgers A, Murray CJL, editors.** Comparative quantification of health risks: global and regional burden of

disease attributable to selected major risks factors. 1353-1434. Geneva. World Health Organization 2004.

- Fernández-González F, Loidi J, Moreno JC, del Arco M, Fernández-Cancio A, Galán C, García-Mozo H, Muñoz J, Pérez-Badia R. & Tellería M.** Impactos sobre la Biodiversidad en Plantas. 2005 En: Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España. ECCE. Moreno, J.M. ed. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, Spain 2005. 183-248 pp.
- Friedli HR, Arellano AF, Cinnirella S, Pirrone N.** Initial estimations of mercury to the atmosphere from global biomass burning. *Environmental Science and Technology*, 2009; 43:3507–3513.
- Galán C, García-Mozo H, Vazquez L, Ruiz L, de la Guardia CD, Trigo MM.** Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *Int J Biometeorol.* 2005; 49:184–188.
- Galán C, Cariñanos P, Alcazar P, & Domínguez E.** Manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología, REA. Servicio de Publicaciones. Universidad de Córdoba. 2007.
- Galán C.** Editorial. *Aerobiologia.* 2008; 24:179
- Galán C, Antunes C, Brandao R, Torres C, García-Mozo H, Caeiro E, Ferro R, Prank M, Sofiev M, Albertini R, Berger U, Cecchi L, Celenk S, Grewling L, Jackowiak B, Jäger S, Kennedy R, Rantio-Lehtimäki A, Reese G, Sauliene I, Smith M, Thibaudon M, Weber B, Weichenmeier I, Pusch G, Buters JT; HIALINE working group.** 2013. Airborne olive pollen counts are not representative of exposure to the major olive allergen *Ole e 1*. *Allergy*, in press. Doi: 10.1111/all.12144.
- García-Mozo H, Galán C, Jato V, Belmonte J, Díaz de la Guardia C, Fernández D, Gutiérrez M, Aira MJ, Roure JM, Ruiz L, Trigo MM, Domínguez-Vilches E.** Quercus pollen Seaton dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Annals Agricultural Environment Medicine.* 2006; 13: 209–224.
- García-Mozo H, Mestre A, y Galán C.** Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology.* 2010; 150: 575–580.
- Gascón M, Verner MA, Guxens M, Grimalt JO, Fornis J, Ibarluzea J, Lertxundi N, Ballester F, Llop S, Haddad S, Sunyer J, Vrijheid M.** Evaluating the neurotoxic effect of lactational exposure to persistent organic pollutants in Spanish children *Neurotoxicology.* 2013; 34: 9-15.
- Geller-Bernstein C, Arad G, Keynan N, Lahoz C, Cardaba B, & Waisel Y.** Hypersensitivity to pollen of *Olea europaea* in Israel. *Allergy.* 1996; 51(5): 356-359, ISSN 0105-4538.
- Geller-Bernstein C, Lahoz C, Ca'rdaba B, Hassoun G, Iancovici- Kidon M, Kenett R & Waisel Y.** Is it “bad hygiene” to inhale pollen in early life?. 2002; – *Allergy* 57 Suppl. 71: 37 – 40.
- Gonçalves M, Jiménez-Guerrero P, and Baldasano J.M.** Contribution of atmospheric processes affecting the dynamics of air pollution in South-Western Europe during a typical summertime photochemical episode. *Atmospheric Chemistry and Physics.* 2009; 9:849-864.
- Gonçalves M, Dabdub D, Chang WL, Saiz F, Jorba Oriol, Baldasano JM.** The impact of different nitrous acid sources in the air quality levels of the Iberian Peninsula. *Atmospheric Chemistry Physics. Discuss.* 2012; 10: 28183–28230. Doi: 10.5194/acpd-10-28183-2010.
- Guaita R, Pichiule M, Maté T, Linares C, Díaz J.** Short term impact of particulate matter (PM2.5) on

- respiratory mortality in Madrid. *International Journal of Environmental Health Research*. 2011; 21: 260-274.
- Guerreiro C., de Leeuw F., Foltescu V., Schilling J., van Aardenne J., Lükewille A., Adams M.** Air quality in Europe – 2012 report. European Environment Agency report 4/2012. ISSN 1725-9117.
- Hurley F, Hunt A, Cowie H, et al.** Methodology for the cost benefit analysis for CAFÉ: Volume 2: Health Impact Assessment. AEA Technology Environment for the European Commission DG Environment 2005.
- Ilizaliturri C, González D, Pelallo N, Domínguez G, Mejía J, Torres A, et al.** Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. *Rev. Interciencia*. Octubre 2009; 34 (10).
- Iñiguez C, Ballester F, Estarlich M, Esplugues A, Murcia M, Llop S, Plana A, Amorós R, Rebagliato M.** Prenatal exposure to traffic-related air pollution and fetal growth in a cohort of pregnant women. *Occup Environ Med*. 2012; 69:736-744 Doi:10.1136/oemed-2011-100550.
- Izquierdo R, Belmonte J, Avila A, Alarcón M, Cuevas E, Alonso-Per S.** Source areas and long-range transport of pollen from continental land to Tenerife (Canary Islands). *International Journal of Biometeorology*. 2011; 55: 67-85.
- Jianmin MA and Cao Z.** Quantifying the perturbations of persistent organic pollutants induced by climate change. *Environmental Science and Technology*. 2010; 44: 8567-8573.
- Jiménez E, Linares C, Rodríguez LF, Bleda MJ, Díaz J.** Short-term impact of particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality among the over-75 age group in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*. 2009; 407: 5486–5492.
- Jiménez E, Linares C, Martínez D, Díaz J.** Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Sci Tot Environ*. 2010; 408:5729-5736.
- Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A, Wojtyniak B, Vonk JM, Tobías A, Pönkä A, Medina S, Bachárová L, Anderson HR.** Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 1996;50 Suppl 1: S12-8.
- Kelly EN, Schindler DW, St Louis VL, Donald DB, Vladicka KE.** Forest fires increases mercury accumulation by fishes via food web restructuring and increased mercury inputs. *Proceedings of National Academy of Sciences*. 2006; 103: 19380-19385.
- Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Schneider J, editors.** Health effects of transport related air pollution. Regional Office for Europe. Copenhagen. World Health Organization. 2005. ISBN 92-890-1373-7.
- Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Horak F Jr, Puybonnieux-Texier V, Quénel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H.** Public health impact of outdoor and traffic related air pollution a European assessment. *Lancet*. 2000; 356: 759-801.
- Laatikainen T, von Hertzen L, Koskinen JP, Mäkelä MJ, Jousilahti P, Kosunen TU, Vlasoff T, Ahlström M, Vartiainen E, Haahtela T.** Allergy gap between Finnish and Russian Karelia on increase. *Allergy*. 2011; 66 (7): 886-892.
- Lacasaña M, Esplugues A & Ballester F.** Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects. *European Journal of Epidemiology*. 2005; 20, (2): 183–99. ISSN: 0393-2990.

- Laden F, Schwartz J, Speizer FE and Dockery DW.** Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006; (6): 667-72.
- Ley 34/2007** de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H, et al.** A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet.* 2012; 380:2224–2260.
- Linares C, Díaz J, Tobías A, De Miguel JM, Otero A.** Impact of urban air pollutants and noise levels over daily hospital admissions in children in Madrid: a time series analysis. *Int Arch Occup Environ Health.* 2006 Feb;79(2):143-52. Epub 2005 Sep 27. PubMed PMID: 16187125.
- Linares C y Díaz J.** Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gaceta Sanitaria.* 2009; 23: 192–197.
- Linares C, Díaz J. y Tobías A.** Are the limit values proponed by the new European Directive 2008/50 for PM_{2.5} safe for health?“. *European Journal Public Health.* 2009; 19:357-358.
- Linares C y Díaz J.** Short-term effect of concentrations of fine particulate matter on hospital admissions due to cardiovascular and respiratory causes among the over-75 age group in Madrid, Spain *Public Health.* 2010; 124: 28-36.
- Linares C, Díaz J.** Short-term effect of PM_{2,5} on daily hospital admissions in Madrid (2003-2005). *International Journal of Environmental Health Research.* 2010 Apr; 20 (2):129-40.
- Llop S, Ballester F, Estarlich M, Iñiguez C, Ramón R, Gonzalez MC, Murcia M, Esplugues A, Rebagliato M.** Social factors associated with nitrogen dioxide (NO₂) exposure during pregnancy: the INMA-Valencia project in Spain. *Soc Sci Med.* 2011 Mar;72(6):890-8. Doi: 10.1016/j.socscimed.2010.12.018. Epub 2011 Jan 26. PubMed PMID: 21345566.
- López Figueroa F.** Implicaciones dermatológicas del cambio climático y de la disminución de la capa de ozono. *Actas Dermosifiliogr.* 2011; 102: 311-5-Vol. 102 núm 05.
- López-Villarrubia E, Iñiguez C, Peral N, García MD, Ballester F.** Characterizing mortality effects of particulate matter size fractions in the two capital cities of the Canary Islands. *Environ Res.* 2012 Jan; 112:129-38. Doi: 10.1016/j.envres.2011.10.005. Epub 2011 Nov 17. PubMed PMID: 22099912.
- MAGRAMA.** Plan nacional de calidad del aire y protección de la atmósfera 2013-2016. Plan Aire. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial. Abril 2013.
- Martín F, Palomino I, Vivanco MG.** Application of a method for combining measured data and modelling results in air quality assessment in Spain. *Física de la Tierra. Recent Advances in Meteorology and Climatology,* September 2009; 21: 65-78, ISSN: 0214-4557.
- Maté T, Guaita R, Pichiule M, Linares C, Díaz J.** Short-term effect of fine particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment* 2010; 408: 5750–5757
- Medina S, Le Tertre A, Saklad M.** The APHEIS protect: Air pollution and health system. *Air Quality Atmosphere Health.* 2009; 2: 185-198.

- Meister K, Johansson C, Forsberg B.** Estimated short-term effects of coarse particles on daily mortality in Stockholm, Sweden. 2011. Global Update 2005. Summary of risk assessment. World Health Organization. Geneva 2006.
- Murray CJ, Ezzati M, Flaxman AD, Lim S, Lozano R, Michaud C et al.** "GBD 2010: design, definitions, and metrics". *Lancet* 2013; 380 (9859): 2063–6.
- Murray CJ, Vos T, Lozano R, Naghavi M, Flaxman AD, Michaud C et al.** "Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010". *Lancet* 2013; 380 (9859): 2197–223.
- Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, Hoffmann B, Fischer P, Nieuwenhuijsen MJ, Brunekreef B, Xun W.W, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Sommar J, Forsberg B, Modig L, Oudin A, Oftedal B, Schwarze PE, Nafstad P, De Faire U, Pedersen NL, Östenson C-G, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen K.T, Sørensen M, Tjønneland A, Ellermann T, Eeftens M, Peeters PH, Meliefste K, Wang M, Bas Bueno-de-Mesquita, Key T-J, de Hoogh K, Concin H, Nagel G, Vilier A, Grioni S, Krogh V, Tsai M, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni Ch, Forastiere F, Tamayo I, Amiano P, Dorronsoro M, Trichopoulou A, Bamia Ch, Vineis P, Hoek G.** Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology* 10 July 2013(Article in Press. Doi: 10.1016/S1470-2045(13)70279-1).
- OMS.** Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe Copenhagen. OMS Regional publications, European Series, Nº 91 (2000).
- OMS.** Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global Update 2005. Summary of risk assessment. World Health Organization. Geneva 2006.
- OMS.** Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Regional Office for Europe. Copenhagen. World Health Organization 2006.
- OMS.** Calidad de aire y salud. Nota descriptiva nº 313. Septiembre de 2011. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
- OMS.** Health effects of black carbon. Regional Office for Europe. Copenhagen. World Health Organization 2012.
- OMS.** Review of evidence on health aspects of air pollution REVIHAAP. First results. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen 2013.
- Orlandi F, Bonofiglio T, Romano B, Fornaciari M.** Qualitative and quantitative aspects of olive production in relation to climate in southern Italy. 2012. *Science Horticulture* 138: 151–1588.
- Oteros JA, Galán C, Alcázar P, Domínguez-Vilches E.** Quality control in bio-monitoring networks, Spanish Aerobiology Network. *Science of the Total Environment*. 2013; 443: 559–565.
- Pay MT, Jiménez-Guerrero P, Jorba O, Basart S, Querol X, Pandolfi M, Baldasano JM.** Spatio-temporal variability of concentrations and speciation of particulate matter across Spain in the caliope modelling system. *Atmospheric Environment*, (In Press, Accepted Manuscript). Doi:10.1016/j.atmosenv. 2011.09.049. ISSN: 1352-2310, October 2011.
- Pérez L, Sunyer J, Künzli N.** Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gaceta Sanitaria*. 2009; 23(4): 287–294.

- Pérez L, Tobías A, Querol X, Pey J, Alastuey A, Díaz J, Sunyer J.** Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: a case-crossover study in Barcelona (Spain). *Environ Int.* 2012 Nov 1;48:150-5. Doi: 10.1016/j.envint.2012.07.001. Epub 2012 Aug 28. PubMed PMID: 22935765.
- Pey J., Querol X., Alastuey A., Forastiere F., and Stafoggia M. et al.** African dust and outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmos. Chem. Phys.* 2013; 13:1395-1410.
- Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD.** Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association.* 2002; 287: 1132-1141.
- Proyecto CALIOPE.** Disponible en: <http://www.bsc.es/caliope>.
- Proyecto INMA:** Disponible en: <http://www.proyectoinma.org/>.
- Proyecto SERCA.** Sistema de Evaluación de Riesgos por Contaminación Atmosférica en la Península Ibérica. 2012. Universidad Politécnica de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Salud Carlos III.
- Prüss-Üstün A and Corvalán C.** Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease. World Health Organization. 2006. ISBN 92-4-15938-2.
- Quenel P, Cassadou S, Declercq C, Eilstein D, Filleu L, Le Goaster C et al.** Rapport Surveillance épidémiologique 'Air & Santé'. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Paris 1999.
- Querol X, Alastuey A, Viana MM, Rodriguez S, Artinano B, Salvador P, do Santos SG, Patier RF, Ruiz CR, de la Rosa J, de la Campa AS, Menendez M, Gil JJ.** Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in Spain *Aerosol Science* 2004; 35: 1151-1172.
- Querol X, Alastuey A, Moreno T, et al.** Material particulado en España: Niveles, composición y contribución de fuentes. Ministerio de Medio Ambiente y Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2006. NIPO: 310-06-107-8.
- Real Decreto 102/2011,** de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire
- Reyes M, Díaz J, Tobías A, Montero JC, Linares C.** Impact of Saharan dust particles on hospital admissions in Madrid (Spain). *Int J Environ Health Res.* 2013 Apr 2. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 23544440.
- Rönmark E, Bjerg A, Perzanowski M, Platts-Mills T, Lundbäck B.** Major increase in allergic sensitization in schoolchildren from 1996 to 2006 in northern Sweden. *J. Allergy Clinical Immunology.* 2009; 124 (2): 357-363.
- Sáez M, Ballester F, Barceló MA, Pérez-Hoyos S, Bellido J, Tenías JM, Ocaña R, Figueiras A, Arribas F, Aragonés N, Tobías A, Cirera L, Cañada A.** A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the EMECAM project. *Environmental Health Perspectives.* 2002; 110: 221-228.
- Samet JM, Dominici F, Currier FC, Coursac I, Zeger SL.** Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994. *New England Journal of Medicine.* 2000; 343(24):1742-1749.
- Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Currier F, Coursac I, Dockery DW, Schwartz J, Zanobetti A.** The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution

- Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Res Rep Health Eff Inst*; 2000; 94 (2): 5-70.
- Samoli E, Stafoggia M, Rodopoulou S, Ostro B, Declercq C, Alessandrini E, Díaz J, Karanasiou A, Kelessis AG, Le Tertre A, Pandolfi P, Randi G, Scarinzi C, Zauli-Sajani S, Katsouyanni K, Forastiere F.** Associations between Fine and Coarse Particles and Mortality in Mediterranean Cities: Results from the MED-PARTICLES Project. Doi: 2013; 10.1289/ehp.1206124.
- Schuster PF, Krabbenhoft DP, Naftz DL, Cecil LD, Olson ML, Dewild JF, Susong DD, Green JR, Abbott ML.** Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: A glacial ice core record of natural and anthropogenic Sources. *Environmental Science and Technology*. 2002; 36:2303–2310.
- Schwartz J.** The effects of particulate air pollution on daily deaths: a multi-city case crossover analysis. *Occup Environ Med*. 2004; 61(12):956–961.
- Shiraiwa M, Pfrang C, Koop T, Pöschl U.** Kinetic multi-layer model of gas-particle interactions in aerosols and clouds (KM-GAP): linking condensation, evaporation and chemical reactions of organics, oxidants and water. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012; 12(5): 2777–2794.
- Siegler J.M.** Emission and long-Range transport of gaseous mercury from a large scale Canadian boreal forest fire. *Environmental Science & Technology*. 2003; 37: 4343-4347.
- Sram RJ, Binkova B, Dejmek J & Bobak M.** Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. *Environmental Health Perspectives*. 2005; 113 (4):375–82. ISSN: 0091/6765.
- Stach, A, Smith M, Skjøth CA and Brandt J.** Examining Ambrosia pollen episodes at Poznan (Poland) using back-trajectory analysis. 2007. *International Journal of Biometeorology* 51:275-286.
- Stafoggia M, Samoli E, Alessandrini E, Cadum E, Ostro B, Berti G, Faustini A, Jacquemin B, Linares C, Pascal M, Randi G, Ranzi A, Stivanello E y Forastiere F; the MED-PARTICLES Study Group.** Short-term Associations between Fine and Coarse Particulate Matter and Hospitalizations in Southern Europe: Results from the MED-PARTICLES Project. *Environ Health Perspect*. 2013; Doi:10.1289/ehp.1206151.
- Staffolani L, Velasco-Jiménez MJ, Galán C & Hruska K.** Allergenicity of the ornamental urban flora: ecological and aerobiological analyses in Córdoba (Spain) and Ascoli Piceno (Italy). *Aerobiologia*. 2011; 27: 239-246.
- Sunyer J.** Promoción de la salud frente al cambio climático. *Gaceta Sanitaria Barcelona* mar-abr. 2010; 24 (2).
- Sunyer J.** Efectos de la contaminación atmosférica en el asma infantil. Mesa redonda. *Pulmón y Medio Ambiente*. CREAL (Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental) Barcelona. España 2011.
- Tenías Burillo JM, Ballester Díez F, Medina S, Daponte Codina A.** Revisión de los artículos originales que analizan los efectos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad 1994-1998. *Rev Esp Salud Publica*. 1999 Mar-Apr;73(2):145-64.
- Tobías A, Galan I, Banegas JR, Aranguéz E.** Short term effects of airborne pollen concentrations on asthma epidemic. *Thorax* 2003; 58(8): 708-10.

UNE 77213: 1997. Calidad del aire. Definición de las fracciones de partículas para el muestreo asociado a problemas de salud.

Vincent L,ST.L . Importance of the forest canopy to fluxes of methyl mercury and total mercury to boreal ecosystems. *Environmental Science and Technology* 2001; 35: 2089–2098.

West JJ, Szopa S, Hauglustaine DA. Human mortality effects of future concentrations of tropospheric ozone. *CR Geoscience*. 2007; 339:775–83.

Working Group on Public Health and Fossil-Fuel Combustion. Short-term improvements in public health on fossil-fuel combustion: an interim report. *Lancet* 1997; 350:1341-49.

Zanobetti A. and Schwartz, J. "Air pollution and emergency admissions in Boston, MA." *J Epidemiol Community Health*. 2006; 60 (10): 890-5.

Ziello C, Sparks TH, Estrella N, Belmonte J, Bergmann KC, et al. Changes to Airborne Pollen Counts across Europe. 2012. *PLoS ONE* 7(4): e34076. Doi: 10.1371/journal.pone.0034076.

Ziska L, Knowlton K, Rogers C, Dalan D, Tierney N, Elder M, Filley W, Shropshire J, Ford LB, Hedberg C, Fleetwood P, Hovanky KT, Kavanaugh T, Fulford G, Vrtis RF, Patz JA, Portnoy J, Coates F, Bielory L and Frenz D. Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America. 2011. *Proceedings national Academy Sciences* 108:4248–4251.



5. IV

Enfermedades de transmisión vectorial

Coordinador:

Estrada Peña, Agustín
Departamento de Patología Animal (Sanidad Animal)
Universidad de Zaragoza

Autores:

Amela Heras, Carmen
Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES)
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

Jansà López de Vallado, Josep María
European Centre for Disease Prevention and Control
Unión Europea

López-Vélez Pérez, Rogelio
Servicio de Enfermedades Infecciosas. Hospital Ramón y Cajal
Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid

Lucientes Curdi, Javier
Departamento de Patología Animal
Universidad de Zaragoza

Molina Moreno, Ricardo
Centro Nacional de Microbiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Roche Royo, Jesús
Centro de Vacunación Internacional de Madrid
Área Funcional de Sanidad de la Delegación del Gobierno en Madrid
Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas

Sánchez Serrano, Luisa

Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III
Ministerio de Economía y Competitividad

Vázquez Torres, María C.

Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral
Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

1. Introducción	189
1.1. Enfermedades transmitidas por vectores y clima	189
2. Sensibilidad al clima actual	190
2.1. Generalidades	190
2.2. Efectos de la temperatura	191
2.3. Efectos de la pluviometría, la humedad y el déficit de saturación.....	192
3. Impactos previsibles del cambio climático.....	193
3.1. Generalidades	193
3.2. Paludismo o Malaria	193
3.2.1. Transmisibilidad.	193
3.2.2. Paludismo en Europa	194
3.2.3. Paludismo en España	195
3.3. Leishmaniasis	196
3.3.1. Transmisibilidad	196
3.3.2. Leishmaniasis en Europa.....	198
3.3.3. Leishmaniasis en España.....	199
3.4. Virus transmitidos por mosquitos o flebotomos.	202
3.4.1. Dengue.....	203
3.4.1.1. Transmisibilidad	203
3.4.1.2. Dengue en Europa.....	204
3.4.1.3. Dengue en España	204
3.4.2. Fiebre Chikungunya.....	204
3.4.3. Virus del Nilo Occidental.....	205
3.4.3.1. Transmisibilidad	205
3.4.3.2. Virus del Nilo Occidental en Europa y regiones limítrofes	206
3.4.3.3. Virus del Nilo Occidental en España.....	206
3.4.4. Fiebre amarilla	207
3.4.4.1. Transmisibilidad	207
3.4.4.2. Fiebre amarilla en Europa y en España	207
3.4.5. Fiebre del Valle del Rift	207
3.4.6. Virus Usutu	208
3.4.6.1. Transmisibilidad.....	208
3.4.6.2. Virus Usutu en Europa.....	208
3.4.6.3. Virus Usutu en España	208

3.4.7. Virus Toscana	208
3.4.7.1. Transmisibilidad	208
3.4.7.2. Virus Toscana en Europa	209
3.4.7.3. Virus Toscana en España	209
3.5. Enfermedades transmitidas por garrapatas.....	210
3.5.1. Enfermedades transmitidas por garrapatas en España	211
3.5.2. Borreliosis de Lyme	212
3.5.3. Fiebre hemorrágica de Crimea-Congo	213
3.5.4. Fiebre Botonosa Mediterránea	214
3.6. Enfermedades transmitidas por roedores	215
3.6.1. Transmisibilidad	215
3.6.2. Enfermedades por virus Hanta	215
4. Zonas más vulnerables	216
5. Principales opciones adaptativas	217
6. Repercusiones sobre otros sectores	217
7. Principales incertidumbres y desconocimientos	218
7.1. Los vectores: mosquitos, flebotomos y garrapatas.....	218
7.2. Enfermedades infecciosas.....	218
8. Detección del cambio.....	219
9. Implicaciones para las políticas	219
10. Principales necesidades de investigación	222
11. Bibliografía	223

1. Introducción

Los informes de la OMS y el ECDC han advertido de la influencia del cambio climático en las enfermedades transmitidas por vectores, como garrapatas, mosquitos o flebotomos. El ECDC ha indicado además que los cambios en el clima y en el medio ambiente pueden influir en el riesgo que suponen las enfermedades transmisibles por vectores (Bezirtzoglou et al. 2011).

Los cambios en el clima que se espera se produzcan en Europa son:

- un mayor riesgo de las crecidas repentinas de agua en las zonas de interior y de inundaciones, erosión y aumento del nivel del mar en las zonas costeras;
- una retracción de los glaciares y la cubierta de nieve con pérdida de especies animales y vegetales por los cambios en los ecosistemas;
- un aumento de la temperatura y la frecuencia de sequías, con reducción de disponibilidad de agua en el sur de Europa y la cuenca mediterránea y una reducción de las precipitaciones anuales más significativa en la zona este de Europa; y
- fuertes olas de calor y aumento de la frecuencia de incendios incontrolados.

Deduciendo la influencia que el clima tiene sobre los vectores, y conociendo estas tendencias previstas, se piensa que estos cambios en el clima podrían influir sobre la frecuencia y la distribución a nivel global de las enfermedades transmitidas por vectores. De hecho, en los últimos años se ha observado un aumento de los casos autóctonos y brotes epidémicos de ciertas enfermedades de transmisión vectorial en Europa (Githeko et al. 2000).

1.1. Enfermedades transmitidas por vectores y clima

La emergencia o reemergencia de la mayor parte de enfermedades infecciosas y parasitarias está condicionada por cambios evolutivos y medioambientales que pueden afectar a una gran variedad de factores intrínsecos y extrínsecos. Entre los primeros se encuentra todo lo relativo a la interacción entre el patógeno y su vector, su hospedador intermediario y su reservorio (infección, virulencia, inmunidad y transmisibilidad). Entre los segundos se agrupan todos los factores que modulan las relaciones del patógeno, vector y hospedador/es con las condiciones medioambientales (clima, condiciones meteorológicas, hábitats, ecosistemas, urbanización, contaminación).

Se piensa que el cambio climático puede influir sobre la distribución temporal y espacial, así como sobre la dinámica estacional e interanual de patógenos, vectores, hospedadores y reservorios. El proceso es simple: el ciclo de los artrópodos vectores de enfermedades está regulado por la temperatura. La velocidad de desarrollo aumenta conforme aumenta la temperatura, a partir de un umbral mínimo de desarrollo y hasta un límite superior. Sin embargo, una elevada fracción de la tasa de mortalidad está producida por unas pérdidas de agua desequilibradas. En un entorno en el que la temperatura aumenta sin llegar al máximo tolerable, y el contenido de agua en el aire no disminuye, se puede afirmar que existirán más vectores (por el mayor desarrollo) y que incluso es posible que existan más generaciones al año. Sin embargo, en la naturaleza y en nuestras latitudes, el déficit de saturación de agua en el aire tiende a aumentar con la temperatura. De esta forma, es complejo evaluar cómo los procesos de mortalidad tenderían a compensar los procesos de desarrollo de los artrópodos vectores.

El fenómeno de “El Niño / Oscilación Austral” (ENOA) es el ejemplo más conocido de variabilidad climática natural y se asocia a un aumento del riesgo de ciertas enfermedades transmitidas por mosquitos, sobre todo de paludismo. Se ha observado que durante el fenómeno de “El Niño” aumentan en un 30% los casos de paludismo en Venezuela y Colombia, los casos se multiplican por cuatro en Sri Lanka y aparecen en el norte de Pakistán. Se han registrado incrementos de la incidencia de dengue en las islas del Pacífico, sureste de Asia y Sudamérica. También aumenta la incidencia de la encefalitis del Valle de Murray y de la enfermedad por el virus del río Ross en Australia, así como los casos de fiebre del Valle del Rift en África del este (Kovats 2000; Kovats et al. 2003a). La incidencia de Leishmaniasis visceral (LV) aumentó en un 39% y 33% en 1989 y 1995, respectivamente tras las oscilaciones climáticas de “El Niño” en el estado de Bahía en Brasil (Franke et al. 2002).

Es muy ilustrativo conocer lo ocurrido en California durante el verano de 1984: coincidiendo con un exceso de lluvias y de temperaturas más altas en el invierno, durante los meses de enero-febrero, al que siguió una sequía y altas temperaturas (que alcanzaron los 30°C) en julio, se produjo un brote de encefalitis de San Luis asociado a una proliferación de mosquitos del género *Culex* (Monath y Tsai 1987). La introducción por aves migratorias de la encefalitis del Nilo Occidental (WNV) en Nueva York y su posterior diseminación a gran parte de EE.UU durante los años 90 del siglo pasado, nos muestra cómo las enfermedades transmitidas por vectores pueden emerger y extenderse rápidamente por un territorio amplio.

Otros incidentes recientes registrados en Europa nos llevan a relacionar los fenómenos meteorológicos extremos con efectos en la salud pública. El brote de fiebre Chikungunya en Italia, durante el año 2007, producida por un virus transmitido por mosquitos es un ejemplo de estas amenazas para la salud. Los

casos recientes de paludismo introducido en Italia en junio de 2008 y en España en 2010, así como los brotes en Grecia, han demostrado la facilidad con que el paludismo podría ser reintroducido en la UE (Bezirtzoglou et al. 2011).

2. Sensibilidad al clima actual

2.1. Generalidades

Los cambios de temperatura, precipitaciones o humedad afectan al comportamiento y a la estacionalidad y abundancia de los vectores, así como a la de los hospedadores intermediarios o la de los reservorios naturales (Githeko et al. 2000). Ello es así porque los artrópodos son sensibles a pequeños cambios de temperatura. Si esos cambios se producen cerca de un umbral característico para cada especie, el ciclo vital experimenta aceleraciones bruscas, no lineales. Unida a la abundancia de hospedadores adecuados para que los artrópodos vectores puedan alimentarse, el aumento de temperatura hasta los límites fisiológicos del artrópodo suele ser sinónimo de un desarrollo mucho más rápido. Otras variables climáticas, como la humedad o el déficit de saturación atmosférico (que mide la carencia de agua en el aire) implican cambios en las tasas de mortalidad de la población de vectores. Se comprueba así que el equilibrio en el que se encuentran las poblaciones naturales de artrópodos vectores es inestable.

Estas variaciones en la expresión del ciclo vital conducen inevitablemente a cambios en la naturaleza, dispersión e incidencia de las enfermedades producidas por los patógenos que pueden vehicular. Por ello, es de esperar que el impacto de los cambios en el clima sobre el ciclo vital de los vectores, se manifieste con cambios en las tasas de transmisión de los agentes patógenos que transmiten. En este caso, sin embargo, se añade al sistema una nueva capa de complejidad, que debe

ser minuciosamente analizada. El estudio de la epidemiología del paludismo, produjo una de las ecuaciones más utilizadas para cuantificar la capacidad vectorial C de un artrópodo, como sigue:

$$C = \frac{ma^2p^n}{-\log_e p}$$

donde m es la densidad del artrópodo vector por persona, a la tasa diaria de picaduras sobre un hospedador vertebrado multiplicado por la probabilidad de que ese vertebrado sea una persona, p la tasa de supervivencia diaria de un vector y n el periodo latente del patógeno en el artrópodo vector (incubación extrínseca) (Macdonald 1957).

Esta ecuación puede aplicarse a los patógenos transmitidos por insectos, pero no es válida para los agentes transmitidos por garrapatas, debido a la existencia de tres estadios que pueden transmitir la infección y a las complejas interacciones entre ellos y sus hospedadores y/o reservorios.

2.2. Efectos de la temperatura

La temperatura es un factor crítico del que depende tanto la densidad de los vectores como la capacidad vectorial: aumenta o disminuye la supervivencia del vector debido al estrés térmico, condiciona la tasa de crecimiento de la población de vectores, modifica el período de incubación extrínseca del patógeno en el vector y cambia la actividad estacional del vector y el patrón de la transmisión estacional.

Al aumentar la temperatura del agua, las larvas de los mosquitos tardan menos tiempo en madurar y, en consecuencia, se aumenta el número de crías durante la estación de transmisión. También se acorta el período de metamorfosis huevo-adulto, reduciéndose el tamaño de las larvas y generándose adultos en un tiempo más corto, pero éstos son más

pequeños, por lo que las hembras tienen que tomar sangre con más frecuencia para llegar a poner huevos, lo que resulta en un aumento de la tasa de inoculación.

El período de incubación extrínseco, que se define como el tiempo que tarda el artrópodo desde que se infecta hasta que es infectante para un hospedador, guarda una relación directa con la temperatura: a mayor temperatura el tiempo es menor. Estas observaciones, aunque han sido más estudiadas en los insectos, se pueden aplicar de igual forma a las garrapatas. Sin embargo, la extrapolación de tales supuestos se hace más compleja en el caso de las garrapatas, ya que tienen varias fases en su ciclo vital, cada una de ellas dependiente de una serie de factores ambientales algo más complejos. Además, cada uno de los estadios de desarrollo de las garrapatas debe encontrar un hospedador para ingerir sangre, a menudo durante varios días, de forma que tienen lugar los mecanismos de regulación poblacional dependientes de la densidad. Es, en suma, un ciclo más complejo, que precisa de un detallado modelo regulado por procesos para entender el impacto que las peculiaridades climáticas de una región pueden producir sobre el mismo y sobre la percepción de sus resultados. Tan sólo existen modelos para dos de las especies de garrapatas que existen en España (Estrada-Peña et al. 2011, 2012) y que puedan aplicarse a la comprensión más o menos completa de estos procesos biológicos.

Muy probablemente, el efecto del cambio climático sobre las enfermedades transmitidas por artrópodos se observará al variarse los límites de temperatura de transmisibilidad, que se corresponde, de una forma laxa, con 14- 18°C como límite inferior y 35- 40°C como superior.

Un mínimo aumento del límite inferior podría dar lugar a la transmisión de enfermedades, mientras que un incremento del superior podría suprimirlo, ya que por encima de los

34°C se acorta sustancialmente la vida del vector. Sin embargo, en torno a los 30-32°C la capacidad vectorial puede modificarse sustancialmente, ya que pequeños incrementos de temperatura pueden acortar el período de incubación extrínseca, aumentándose la transmisión. Este límite superior puede ser incluso menor en el caso de algunas especies de garrapatas, y situarse en un entorno de 20-22°C de temperatura anual media.

Un aspecto que ha sido demostrado para los insectos del género *Culicoides* en el Reino Unido, es el cambio en la sensibilidad a orbivirus mostrado por especies de este género que son refractarias a su infección con el aumento de temperatura (Wittmann y Baylis 2000). Es decir, especies que ahora no contemplamos como vectores podrían comportarse como transmisoras de patógenos en un escenario de temperaturas más elevadas.

2.3. Efectos de la pluviometría, la humedad y el déficit de saturación

Es necesario indicar en primer lugar que la precipitación, su frecuencia o su intensidad no tienen un efecto claro y permanente sobre la humedad relativa del aire, ni sobre el déficit de saturación de agua en el aire.

La humedad relativa mide la cantidad de agua por unidad de masa de aire, mientras que el déficit de saturación indica la carencia de agua en un determinado volumen. La primera es una cantidad relativa, mientras que la segunda está además relacionada con la temperatura.

Un aumento de las precipitaciones podría aumentar el número y la calidad de las zonas en las que crían los mosquitos, así como la densidad de cierta vegetación que les es propicia para su desarrollo y reproducción. Las inundaciones y sobre todo las grandes avenidas fuera de las épocas tradicionales de las mismas, podrían eliminar el hábitat

adecuado por un periodo de tiempo no determinado, tanto para los vectores como para los hospedadores y reservorios.

Las sequías en lugares húmedos ralentizarían los cursos de los ríos, creándose remansos que aumentarían los sitios de cría y, además propiciarían una mayor deshidratación del vector, lo que le obligaría a alimentarse más frecuentemente. En otras palabras, podría aumentar el número de picaduras.

Los planes de irrigación y abastecimiento de aguas incrementan la superficie acuática y previenen inundaciones y sequías, lo que también aumenta el número de zonas en las que pueden criar los mosquitos. Los planes de intensificación agrícola aumentan la erosión del terreno, la superficie de agua y reducen la biodiversidad, con lo que se pueden reducir los predadores de vectores y aumentar los lugares de cría vectorial.

Se desconocen los efectos que los cambios en el régimen de precipitaciones pueden tener sobre las garrapatas. Se sabe (Estrada-Peña y Venzal 2006) que la precipitación tiene poca importancia en la delimitación del hábitat adecuado para las garrapatas, mientras que el déficit de vapor de agua en el aire es una variable de gran importancia para su monitorización (Estrada-Peña et al. 2011).

Desde el punto de vista de los agentes patógenos transmitidos por garrapatas, no tiene tanta importancia la acumulación de agua en un espacio natural, sino la cantidad de agua en el ambiente o su déficit hasta la saturación, lo que implica que las garrapatas no pueden estar activas durante determinados periodos de tiempo, más o menos prolongados, o que las tasas de mortalidad se elevan por la pérdida de agua. Sin embargo, las relaciones entre temperatura, humedad, garrapatas, sus hospedadores y los reservorios, están lejos de ser resueltas en su totalidad, lo que permitiría extrapolar una serie de relaciones de utilidad para su aplicación a los escenarios de clima.

3. Impactos previsibles del cambio climático

3.1. Generalidades

Con el fin de homogeneizar la presentación de estos datos, es necesario indicar que el impacto del clima sobre la presentación de una enfermedad puede producirse bien sobre las poblaciones de vectores, bien sobre las de sus hospedadores o reservorios, bien sobre el desarrollo del patógeno.

Sería demasiado prolijo, y en muchos casos proclive a la incertidumbre, detallar individualmente los efectos e impactos esperados sobre cada uno de los protagonistas del binomio de la enfermedad. Por ello, exponemos a continuación los datos conocidos referidos a cada una de las enfermedades, sin pretender analizar el efecto parcial sobre cada uno de los actores implicados, sino sobre el resultado final.

3.2. Paludismo o Malaria

3.2.1. Transmisibilidad

Son cinco las especies de *Plasmodium* que infectan a los humanos: *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*, *P. malariae* y *P. knowlesi*. La transmisión natural de *Plasmodium falciparum*, el agente etiológico más letal de todas las especies causantes de esta enfermedad, se realiza mediante la picadura de hembras de mosquitos del género *Anopheles*. De las más de 3.000 especies de mosquitos distribuidos por todo el mundo (sobre todo por zonas templadas y tropicales), 400 son anofelinos, 70 transmiten el paludismo y sólo unas 40 especies son de importancia médica: *Anopheles gambiae* y *An. funestus* principales vectores en África tropical.

Estos insectos sufren una metamorfosis completa, pasando por cuatro estadios bien marcados: huevo, larva, pupa y adulto; los

3 primeros acuáticos y el último aéreo. La duración de esta metamorfosis varía según la temperatura ambiental, desde 7 días a 31°C hasta 20 días a 20°C. Los machos viven tan sólo unos pocos días, y al no alimentarse de sangre no juegan ningún papel en la transmisión de la enfermedad, salvo el de fecundar a las hembras, lo que se produce poco después de que ellas eclosionen. La primera puesta de huevos suele ocurrir al 4°-5° día de vida del mosquito y las puestas sucesivas serán cada 2-3 días coincidiendo con la picadura en busca de sangre, lo que se denomina en entomología “concordancia gonotrófica”.

Una vez que el mosquito es infectado, tras la picadura a un humano parasitado, permanece infectante durante toda su vida, precisándose unos 10 días para el desarrollo de *P. falciparum* en el mosquito (período de incubación extrínseca), por lo que una hembra ha de sobrevivir al menos durante cuatro o cinco ciclos gonotróficos para poder transmitir el parásito (es decir, al menos durante 10-12 días).

La longevidad de la hembra del mosquito en condiciones favorables se ha calculado en unas 4 semanas para ciertas zonas de África, aunque algunas especies que habitan zonas templadas sobreviven hasta seis meses, al entrar en letargo invernal.

La mayoría de las especies de mosquitos pica al anochecer, sobre todo desde las 20 a las 03 horas y los más eficaces en la transmisión son aquellos que tienen hábitos antropofílicos (pican sólo a humanos), endofágicos y endofílicos (pican y descansan dentro de las viviendas).

Las picaduras disminuyen notablemente si la humedad relativa es inferior al 52%.

La temperatura óptima para el desarrollo del mosquito es de 20-27°C mientras que la temperatura óptima de desarrollo del parásito se sitúa en torno a los 22-30°C (22°C para *P. ovale*, 25°C para *P. vivax* y 30°C para *P. falciparum*).

rum). No existe la transmisión en altitudes superiores a los 3.000 metros debido a las bajas temperaturas observadas en esas zonas, incluso en regiones tropicales. Tampoco existe transmisión en un régimen de temperaturas mantenidas inferiores a 15°C, ya que la reproducción del protozoo se detiene (para *P. vivax* si desciende por debajo de 16°C y para *P. falciparum* por debajo de 19°C). Tampoco hay transmisión si la temperatura supera de forma mantenida los 38°C.

Se denomina “índice esporozoítico” a la proporción de anofelinos hembras infectivos en una zona determinada. Se trata pues, del porcentaje de hembras del mosquito que tiene esporozoitos en sus glándulas salivales. En África tropical este porcentaje es del 2-5%, mientras que en otras áreas palúdicas es del 0,2-2%.

En malariología, se denomina paludismo indígena o autóctono a la enfermedad que se adquiere por la picadura de un mosquito infectado en un país donde existe paludismo. Se denomina paludismo introducido a la infección que se adquiere en un país donde no hay paludismo, por mosquitos locales que se han infectado desde un enfermo con paludismo importado. Paludismo inducido es la transmitida por sangre u órganos. Se denomina paludismo de aeropuerto (o más generalmente de odisea) cuando se adquiere en un país donde no hay paludismo, por mosquitos infectados transportados desde zonas endémicas en los equipajes o en aviones, barcos, autobuses o contenedores.

Habitualmente se ha denominado “anofelismo sin paludismo” a aquella situación en la que hay presencia de poblaciones de anofelinos bien establecidas, junto con el parásito circulando entre cierto porcentaje de la población humana. Se han señalado casos de paludismo importado por viajeros e inmigrantes en nuestro país (Bueno et al. 2010). Estudios recientes han puesto de manifiesto que el cambio climático previsto puede crear

escenarios que afectan al desarrollo del vector y a la transmisión y distribución geográfica de la enfermedad (Bueno et al. 2008).

3.2.2. Paludismo en Europa

En el pasado, el paludismo se transmitía por toda Europa, llegando a latitudes septentrionales como Reino Unido, Escocia, Dinamarca, sur de Noruega, sur de Suecia, Finlandia y las provincias Bálticas de Rusia. La temperatura invernal en estas latitudes llega a mínimos de -20°C.

La transmisión dependía de las temperaturas estivales, mantenidas por encima de la isoterma de 15°C en julio. Pero a partir de mediados del siglo XIX el paludismo desapareció del norte de Europa y declina en el centro (como ejemplo: los últimos brotes en París ocurrieron durante 1865, cuando se construyeron los grandes bulevares), para desaparecer después de la I Guerra Mundial. En el sur de Europa permaneció muy prevalente (debido a la pobreza y falta de desarrollo) hasta pasada la II Guerra Mundial, cuando se instauró un programa eficaz de control vectorial (con el advenimiento revolucionario del DDT). En 1961 la erradicación se había producido en la mayoría de los países. En los años 90 se produjeron brotes en nuevos estados del sur de la antigua Unión Soviética, con transmisión local a partir de casos importados por las tropas desde Afganistán. Actualmente, hay transmisión (exclusivamente *P. vivax*) de manera estacional y en focos muy concretos de Azerbaiyán, Georgia, Kirguizistán, Federación Rusa, Tayikistán, Uzbekistán y en la zona asiática de Turquía. Ocasionalmente, se describe algún caso autóctono en Europa, sin transmisión secundaria. Grecia dio por vencido el paludismo endémico en 1974, pero en 2010 se detectaron poblaciones locales de mosquitos transmisores y en 2011 se declararon 40 casos de paludismo autóctono en las regiones de Laconia y Ática. Durante el año 2012 se declararon

83 casos de paludismo (52 causados por *P. vivax*) de los que al menos 17 fueron adquiridos localmente, el resto en inmigrantes (CDC 2012).

3.2.3. Paludismo en España

Las fiebres tercianas benignas por *P. vivax*, y en menor grado las tercianas malignas por *P. falciparum* y las cuartanas por *P. malariae*, eran endémicas en España hasta hace relativamente poco tiempo. El último caso de paludismo autóctono se registró en mayo de 1961 y en 1964 fue expedido el certificado oficial de erradicación. Desde entonces, todos los casos declarados han sido importados, a excepción de los inducidos por transfusiones o por intercambio de jeringuillas en adictos a drogas por vía parenteral o de los casos de paludismos de aeropuerto. En el año 2001 se detectó el primer caso adquirido de *P. ovale* en Europa, concretamente en Alcalá de Henares (Madrid), cuya proximidad al aeródromo de Torrejón de Ardoz permite sospechar que se tratase de un caso de paludismo de aeropuerto (Cuadros et al. 2002). En 2010 se notificó el primer caso de paludismo, probablemente autóctono, debido a *P. vivax* en la provincia de Huesca. Se contrajo la enfermedad por la picadura de un mosquito *Anopheles atroparvus* que portaba el parásito (Santa-Olalla et al. 2010). En 2010 se notificaron en España un total de 353 casos, de los que 351 fueron importados y dos de ellos autóctonos. En torno al 73% de los casos se produjeron en personas entre los 25 y 54 años de edad (RENAVE 2010).

En España existen diversas especies de mosquitos del género *Anopheles* capaces de mantener ciclos activos de transmisión de paludismo (Bueno et al. 2008). Estudios recientes evidencian la presencia establecida, y relativamente común de al menos tres especies, de las 15 que se han descrito en España, cuya bioecología y fisiología les permitiría iniciar episodios de transmisión palúdica de tipo localizado en diversas regiones españolas: *An. atroparvus*, *An. claviger* y *An. maculipennis* s.s. (figura 22). A pesar de ello, no podemos obviar que el continuo contacto con cepas exóticas hospedadas en personas procedentes de países con alto riesgo, fundamentalmente inmigrantes con parasitemias persistentes, puede culminar en la selección o la adaptación de cepas de *P. falciparum* capaces de desarrollarse en *An. atroparvus* o en otros anófeles presentes en España (Bueno et al. 2008).

Sin embargo, hay otros factores que también influyen en este proceso, como son el desarrollo sociocultural de la región, el acceso a hospitales, los programas de prevención, el conocimiento de la población, el uso de insecticidas para combatir el vector, así como los desplazamientos poblacionales.

Sabemos que existen los vectores óptimos para la transmisión de esta enfermedad, así como la circulación de plasmodios entre cierto porcentaje de la población humana en nuestro país. Las cifras indican que alrededor de un 40% de los reservorios humanos de la parasitosis son inmigrantes, dato que probablemente esté infravalorado dadas las dificultades que afrontan muchos extranjeros para acudir al sistema sanitario, máxime

Paludismo

- El cambio climático previsto puede crear escenarios que afectan al desarrollo del vector, su distribución geográfica y su transmisibilidad.
- Dada la presencia de personas con parasitemia y vectores competentes para la transmisión, la detección temprana de casos de paludismo introducidos es fundamental.

Figura 22. Distribución de *Anopheles atroparvus* en España (los puntos indican presencia)



Fuente: Tomado de Santa-Olalla et al. 2010

para aquellos colectivos no integrados en él y que suelen proceder en su mayoría de una de las áreas más endémicas del planeta, África subsahariana (Ministerio de Sanidad y Consumo, 2007). Se ha demostrado la persistencia de parasitemias de *P. falciparum* por técnicas de detección de ADN en inmigrantes asintomáticos residiendo más de dos años en España (Monge-Maillo et al. 2012).

Al ser el paludismo una enfermedad de vigilancia especial para la OMS y valorando los cambios recientes, la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica (RENAVE) está actualmente revisando el Protocolo de Vigilancia Epidemiológica. Dada la presencia de personas con parasitemia y vectores competentes para la transmisión en España, la detección temprana de casos de paludismo introducidos es fundamental para impedir la aparición de brotes o el asentamiento de la enfermedad. Para ello la vigilancia realizada por la RENAVE

es esencial. Además, se pretende también la detección de resistencias frente a las drogas utilizadas en profilaxis y terapéutica.

3.3. Leishmaniasis

3.3.1. Transmisibilidad

Las leishmaniasis engloban a un grupo de enfermedades causadas por protozoos pertenecientes al género *Leishmania* (Kineto-plastida, Trypanosomatidae), que afectan al hombre y a otros mamíferos. La transmisión en la naturaleza puede ser zoonótica o antroponótica y, habitualmente, se produce a través de la picadura del flebotomo, díptero de la familia Psychodidae y subfamilia Phlebotominae (Killick-Kendrick 1990). La enfermedad es endémica en 88 países, estimándose una incidencia mundial anual de 2 millones de casos nuevos (0,5 millones de LV y 1,5

millones de cutánea). La leishmaniasis reemergió en Europa a partir de la década de 1960, coincidiendo con la finalización de los programas de control que habían logrado erradicar el paludismo.

En la cuenca del Mediterráneo se encuentran tres especies de *Leishmania*: *L. infantum*, la especie más común responsable tanto de la LV como de la leishmaniasis cutánea (LC); *Leishmania major*, que se encuentra en el norte de África y Oriente Medio causando LC y *Leishmania tropica*, con una limitada presencia en Europa (Creta), causando LC (Christodoulou et al. 2012).

El flebotomo es el único transmisor reconocido de las diferentes especies del parásito. Los vectores involucrados en la transmisión de *L. infantum* en España son *Phlebotomus perniciosus* y *Phlebotomus ariasi*, encontrándose el primero ampliamente distribuido en la mayoría de las zonas áridas y semiáridas de la península sobre todo y también en los archipiélagos balear y canario. *Ph. ariasi* está restringido a ambientes más frescos y húmedos de la península y en la actualidad parece estar ausente en las Islas Baleares (Gil-Collado et al. 1989).

El perro doméstico es el principal reservorio de *L. infantum*. Actúa como un factor importante en el ciclo de transmisión, en la medida que más de un 50% de todos los perros infectados son portadores asintomáticos que pueden ser capaces de transmitir el parásito a los flebotomos. *L. infantum* también ha sido detectada en gatos y otros mamíferos silvestres como el zorro, el lobo, el chacal, la gineta, el linco, etc (Solano-Gallego 2007; Abranches 1983; Bettini 1980; Quinnell et al. 2009; Sobrino et al. 2008). Se desconoce si estos animales son capaces de mantener por sí solos las poblaciones de parásitos y no se puede precisar su papel como reservorios activos. En el perro doméstico se ha demostrado que la capacidad de infectar flebotomos es similar en los casos asintomáticos y sintomáticos (Molina et

al. 1994). Por lo tanto, desde el punto de vista epidemiológico, los perros asintomáticos son considerados auténticos portadores.

El cambio climático, en la medida en que predice un aumento en la temperatura global, puede facilitar la presencia de vectores en todo el territorio peninsular, ampliar su periodo de actividad y provocar un aumento considerable de las densidades de sus poblaciones en las zonas donde ya están presentes (Gálvez et al. 2011).

Se ha publicado un estudio sobre el riesgo de impacto del cambio climático en la emergencia o reemergencia de enfermedades infecciosas en Europa (Abanades et al. 2007), donde la leishmaniasis aparece como una enfermedad fuertemente asociada al cambio climático (Maroli et al. 2008; Lindgren et al. 2012). El avance de la leishmaniasis hacia el norte de Europa dependerá de los cambios del clima y del uso del suelo (Ready 2010). Recientemente, se han confeccionado mapas de riesgo para los vectores de la leishmaniasis, atendiendo a los escenarios de cambio climático (Barón et al. 2011; Gálvez et al. 2011).

La temperatura ambiente juega también un papel decisivo en la dinámica de esta enfermedad, ya que afecta a los parámetros que favorecen la transmisión de la infección. Incide de forma directa sobre la supervivencia del flebotomo, pues estos insectos viven en una isoterma de 20°C, aunque pueden permanecer activos incluso a 16°C. También incide sobre la duración del ciclo biológico del parásito en el flebotomo, la duración del periodo extrínseco de incubación y los hábitos de los flebotomos.

Si como consecuencia de la modificación del entorno y de los factores ambientales y de los cambios meteorológicos se produjera un aumento en la densidad de poblaciones de vectores y de reservorios, que facilite la transmisión del parásito entre ellos, puede ocurrir que este incremento en la circula-

ción del parásito genere un incremento en el número de genomas patógenos. Esta situación puede provocar un aumento en la variabilidad genética que puede acelerar la adaptación del patógeno e incluso modificar su patogénesis (Wilcox y Colwell 2005).

Como ya se ha indicado, el clima influye sobre la leishmaniasis afectando a su vector y al parásito. Sin embargo, la evidencia revisada sugiere que las variables climáticas estarían en un segundo plano en cuanto al resurgimiento de la enfermedad. En este sentido, habría una serie de factores que parecen ser mucho más relevantes. Entre ellos estarían la aparición de cepas resistentes a los tratamientos actuales, el aumento del turismo hacia zonas endémicas, una insuficiente vigilancia epidemiológica que conduce a una subestimación de la enfermedad, y el desconocimiento de las cifras reales de infectados por el parásito.

3.3.2. Leishmaniasis en Europa

Se sabe que los cambios climáticos globales asociados con una mayor densidad y actividad de los flebotomos durante un período más amplio, podrían aumentar el número de días favorables para la transmisión de parásitos a los seres humanos y animales, con el consiguiente aumento de la incidencia. En lo que respecta al parásito, los aumentos en la temperatura podrían acortar los periodos madurativos de éste dentro del flebotomo y aumentar el riesgo de transmisión. En cuanto al vector, el cambio climático le afecta de la misma forma que en otras enfermedades transmitidas por mosquitos, es decir favorece su supervivencia y su reproducción, acorta su periodo de letargo invernal y consigue un aumento en el número de generaciones anuales, así como modifica su distribución geográfica. En Portugal, por ejemplo, la leishmaniasis es endémica y estudios de campo confirman que las actuales condiciones ambientales del país favorecen la supervivencia de los flebotomos durante varios meses. Además la prevalencia del parásito

es bastante alta en los perros, su reservorio natural (Bern et al. 2008).

En los últimos años esta patología ha hecho su aparición en latitudes más septentrionales, como el norte de Italia (Alves-Pires 2008) y el sur de Alemania (Maroli et al. 2008).

Existe un alto riesgo de que la LC antroponótica causada por *Leishmania tropica*, en la actualidad sólo presente en el norte de África y Oriente Medio, pueda emerger en el sur de Europa (Ready 2010).

Durante los últimos 25 años Creta se ha convertido en una zona endémica de *L. infantum* con un alto número de perros infectados y un número creciente de casos en humanos. Al mismo tiempo, la LC causada por *L. tropica* ha vuelto a aparecer con un promedio de tres casos de LC por año en los últimos 4 años. Ambas, LV y LC, se han extendido a la totalidad de la isla en los últimos 25 años, principalmente en zonas semi-urbanas y urbanas, con una altura de 0-50 m. En estos casos las especies de flebotomos predominantes eran *Ph. neglectus* (vector comprobado de *L. infantum*) y *Ph. similis* (vector sospechoso de *L. tropica*) (Christodoulou et al. 2012).

Hay varias razones que explican lo complicado que es conocer el número exacto de casos de leishmaniasis en Europa. En primer lugar, la forma subclínica de la enfermedad es mucho más frecuente que la forma clínica, habiendo probablemente entre treinta y cien casos de infección subclínica por cada uno de LV. En segundo lugar, los individuos que se contagian en Europa y regresan a sus países, son diagnosticados allí y no se contabilizan.

En tercer lugar, al no existir por el momento una red de vigilancia específica para esta enfermedad que abarque toda Europa, muchos casos no son declarados. El avance de la leishmaniasis hacia el norte de Europa dependerá de los cambios del clima y del uso del suelo (Ready 2010).

3.3.3. Leishmaniasis en España

España forma parte del foco de leishmaniasis localizado en la cuenca mediterránea, en donde circula *L. infantum* que se transmite como una zoonosis. En estos focos se han observado grandes fluctuaciones en la incidencia de la enfermedad, atribuibles a cambios medioambientales, desplazamientos de población o a factores climáticos (Dujardin et al. 2008). Es endémica en nuestro país y está presente en la mayor parte del territorio peninsular e Islas Baleares.

Las diferentes formas clínicas de la enfermedad dependen fundamentalmente de la especie de *Leishmania* causante y de la respuesta inmune del hospedador. Las infecciones cutáneas primarias se resuelven muchas veces sin tratamiento, el hospedador desarrolla una inmunidad natural a través de una respuesta humoral y celular. La infección, sin embargo, puede diseminarse y alcanzar el bazo, el hígado y la médula ósea dando lugar a una LV o Kala-azar. Esta última tiene una tasa de letalidad cercana al 100% si no es tratada (WHO 2010).

El periodo de incubación difiere dependiendo de la presentación clínica. En el caso de la LC es de alrededor de una semana, pudiendo persistir las lesiones varios meses. En la LV, por lo general, es de 2 a 6 meses, aunque puede oscilar entre 10 días y años.

Tres son los patrones de presentación de la enfermedad en España (Suárez et al. 2012):

- Patrón endémico, los casos de la enfermedad se presentan de forma esporádica, con el perro como principal reservorio.
- Casos asociados con VIH y pacientes inmunodeprimidos. Los casos de esta coinfección se presentan también de forma esporádica y asociados, por un lado, a la existencia de inmunodepresión como factor activador de la infección latente y, por otro, a la transmisión del

parásito entre los usuarios de drogas por vía parenteral.

Figura 23. Distribución geográfica de *Phlebotomus perniciosus* y *Phlebotomus ariasi* en España



Phlebotomus perniciosus



Phlebotomus ariasi

Fuente: Lucientes, J., Castillo, J.A., Gracia, M.J Peribañez, M.A. Flebotomos de la biología al control. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. © ISSN 1695-7504. Vol. VI n° 8 Agosto 2005.

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080805B/080502B.pdf>.

Tomado de Evaluación del Riesgo de Transmisión de *Leishmania Infantum* en España, octubre 2012. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES), Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad

- Brotes epidémicos, como el recientemente aparecido en 2009 al suroeste de Madrid que a día de hoy aún se mantiene activo con más de 500 casos diagnosticados desde entonces.

La distribución geográfica de la enfermedad en España se ha ido ampliando progresivamente hasta abarcar casi todo el territorio nacional, a excepción de las Islas Canarias (figura 23). A pesar de que el principal número de casos humanos se produce en el litoral mediterráneo y la meseta central, en casi todas las Comunidades Autónomas se registran casos. El perro es el principal reservorio, aunque la posibilidad de que otros animales actúen como reservorios, domésticos o selváticos, ha sido señalada por diversos autores (Portús et al. 2002; Quinnell y Courtenay 2009). En cualquier caso, la participación de estos reservorios potenciales en el mantenimiento del ciclo de transmisión no está demostrada para la mayor parte de ellos (WHO 2010). Muy recientemente se ha demostrado que la liebre puede estar infectada por *L. infantum* en un alto porcentaje, por lo que estaría jugando un papel importante como nuevo reservorio en el brote desencadenado en el sur de la Comunidad de Madrid. Incluso se ha podido demostrar, mediante xenodiagnóstico directo, que estas liebres son capaces de transmitir el parásito a los flebotomos (Molina et al. 2012).

La leishmaniasis canina (Lcan), en clara expansión, ya se ha detectado en 42 países y tiene una gran importancia epidemiológica en el desarrollo de la leishmaniasis humana. La seroprevalencia de la Lcan ha experimentado un ascenso en las últimas décadas, muy marcado en algunas zonas, por casi toda la geografía española. En la zona sureste del país, los estudios muestran que la seroprevalencia ha aumentado del 9,2% en 1984 al 15,4% en 1991 y, finalmente, a 20,1% en 2006 (Martín-Sánchez et al. 2009; Sánchez et al. 1996; Reyes et al. 1988). En Madrid, las últimas encuestas de seroprevalencia canina realizadas en la mitad norte de la región indican también un

incremento, mas moderado, en el porcentaje de perros infectados, pasando de un 5,3% en 1992 (Amela et al. 1995) a un 8,1% en 2007 (Gálvez et al. 2010). Cabe destacar la reciente notificación del primer caso de leishmaniasis en un perro de la zona pirenaica de Lleida en la que se sugiere una infección local dada la presencia de los vectores en la zona (*Ph. ariasi* y *Ph. perniciosus*) (Ballart et al. 2012).

Los estudios realizados en España sobre las tasas de infección de los flebotomos vectores de la enfermedad no son muy numerosos. Los porcentajes hallados en esas investigaciones son siempre muy bajos, oscilando entre un 0,4 y un 4,6 % (Rioux et al. 1986; Lucientes-Curdi et al. 1988; Morillas-Márquez et al. 1991; Gállego et al. 1993; Martín-Sánchez et al. 1994, 2009; Molina et al. 2005; Alcover et al. 2012). Sin embargo en estudios recientes realizados en áreas con altas prevalencias de Lcan, empleando herramientas moleculares, se encuentran porcentajes bastante más elevados, con valores cercanos al 40% (Martín-Sánchez et al. 2006; Alcover et al. 2012).

La vigilancia epidemiológica de la leishmaniasis en España comenzó en 1982, y en 1995 con la creación de la RENAVE se clasifica a la leishmaniasis como enfermedad endémica de ámbito regional dejando de ser de notificación obligatoria en las Comunidades Autónomas en donde no es endémica.

La enfermedad muestra un patrón de distribución bimodal según grupos de edad, con mayor afectación de los grupos de menor edad, menores de 5 años y adultos jóvenes (35-54 años). La afectación en el grupo de menor edad se asocia al patrón endémico, mientras que en los casos que se observan entre adultos jóvenes tiene más peso la asociación con VIH (Pintado et al. 2001). Hasta 2009, la incidencia anual en todo el territorio nacional se mantuvo estable, en torno a 0,3 casos/100.000 hab. Las mayores cifras de incidencia se registraron hasta ese momento en:

Provincia	Casos/100.000 hab	Año
Islas Baleares	4,72	2005
	4,59	2006
Valencia	0,70	2007
Madrid	0,59	2004
Andalucía	0,58	2006
Cataluña	0,48	2004

Sin embargo, en 2011 se registraron cifras de incidencia de 2,63/100.000 hab. en la Comunidad de Madrid, asociadas sin duda al brote en el municipio de Fuenlabrada, al sur de esta Comunidad. El brote comenzó en julio de 2009 y hasta el 17 de octubre de 2012 se notificaron 471 casos. La mayoría eran residentes en Fuenlabrada, con una tasa de incidencia de 54,17 casos/100.000 hab.. Un 36,8% presentaron una LV y el 63,2% restante una cutánea. La mediana de la edad es de 48 años y el rango de edad oscila entre 2 meses y 95 años. El 84,2% son nacidos en España (*fuentes: CM*). En general existe una marcada subdeclaración, puesta de manifiesto cuando se comparan los datos con sistemas de información como el Conjunto Mínimo Básico de Datos (CMBD).

Un factor que ha contribuido sin duda en España al incremento de la infección parasitaria en el pasado ha sido el aumento del número de personas inmunodeprimidas, principalmente coinfectadas por VIH (Ready 2010). La coinfección *Leishmania*/VIH se observó por primera vez en los años 80 en pacientes que desarrollaban LV. Esta forma de leishmaniasis, en pacientes coinfectados no tiene cura (Alvar et al. 2008). Los pacientes con inmunodepresión intensa tienen mayor número de recaídas, hasta que dejan de responder a los tratamientos (Desjeux y Alvar 2003). La introducción de la terapia antirretroviral altamente efectiva en Europa ha mejorado de forma notable la calidad de vida de estos pacientes (López-Vélez 2003; WHO 2010; Gil-Prieto et al. 2011).

La transmisión es generalmente periurbana y rural, en zonas residenciales en cuyos alrededores abundan los perros y se acumulan residuos, elementos indispensables para mantener el ciclo biológico de los flebotomos. Las viviendas unifamiliares, con jardín en muchas ocasiones, reúnen las condiciones idóneas para que el flebotomo cierre su ciclo biológico (Alvar et al. 1995). Otro factor muy relacionado con el aumento en la incidencia de la leishmaniasis es el rápido desarrollo de grandes ciudades y zonas periurbanas con un gran número de habitantes rodeadas de espacios ecológicamente modificados, donde conviven el reservorio y el vector competente (Martín-Sánchez et al. 2009; Gálvez et al. 2010; Franco et al. 2011; Ballart et al. 2012).

Uno de los factores responsables de la reemergencia de una enfermedad es el salto del agente infeccioso a un nuevo reservorio y, posteriormente, el establecimiento y diseminación del mismo. La aparición de un nuevo reservorio, en un entorno libre de depredadores, junto con condiciones idóneas para el crecimiento del vector, en un espacio próximo y muy accesible a zonas residenciales habitadas por personas susceptibles, parece haber desencadenado el brote de la Comunidad de Madrid (Molina et al. 2012). En la zona donde se ha detectado el brote, se ha encontrado un número elevado de liebres infectadas con *L. infantum*. Previamente se había transformado una amplia zona periurbana en una zona verde protegida de uso público, creándose así un ecosistema idóneo para la proliferación de los flebotomos y de herbívoros como la liebre y el conejo, en un municipio que ha pasado rápidamente de presentar características rurales a ser un importante núcleo urbano, con 7.369 habitantes en 1970 mientras que en 2011 alcanzó los 198.560 habitantes.

3.4. Virus transmitidos por mosquitos o flebotomos

Se han identificado más de 520 de estos virus, de los que un centenar son patógenos para el hombre. Los más importantes son los que producen fiebres hemorrágicas o encefalitis. Se denominan arbovirus (**arthropod-borne virus**) a aquellos virus que son transmitidos por la picadura de artrópodos, fundamentalmente por mosquitos de los géneros *Aedes* y *Culex*. Existen otros arbovirus que son transmitidos por garrapatas, como el virus de la encefalitis por garrapatas (TBE, de sus siglas en inglés) y el virus de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo, que se comentarán más adelante.

El mosquito *Aedes aegypti*, vector de la fiebre amarilla y del dengue en los trópicos, se encuentra en Madeira y recientemente se ha comprobado su presencia en los Países Bajos. *Aedes albopictus*, mosquito vector del dengue y de la fiebre amarilla, ha irrumpido en el continente europeo, siendo originario del sudeste asiático y subcontinente indio. Es vector potencial de otros virus como encefalitis japonesa, encefalitis equina del este, fiebre de Ross, La Crosse, Chikungunya, fiebre del Valle del Rift y Virus del Nilo Occidental (WMV) y es también un buen vector de los parásitos *Dirofilaria immitis* y *Dirofilaria repens*. En teoría sobrevive hasta latitudes

tan al norte como los 50°N, es decir abarcando toda la extensión de España.

El factor limitante de la dispersión de este mosquito parece ser las temperaturas invernales, en concreto la isoterma -5°C en el mes de enero, lo que incluso posibilitaría su establecimiento hasta el sur de Suecia.

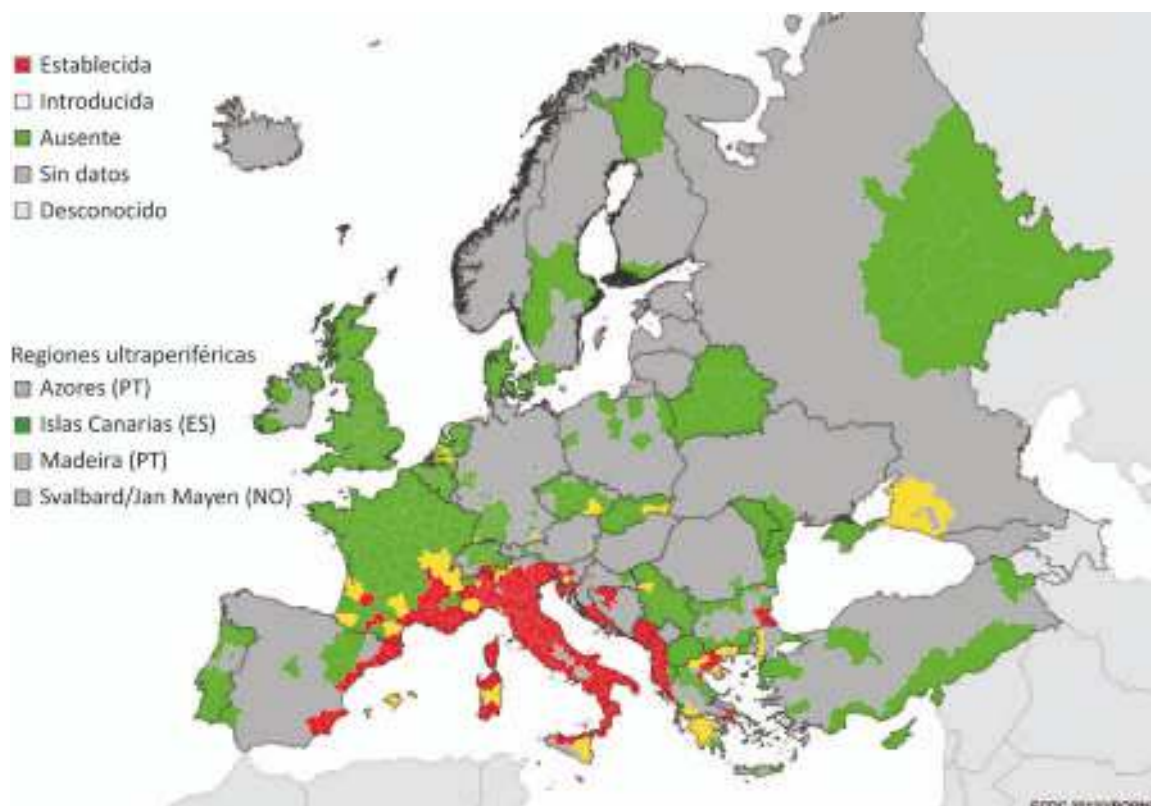
Por otro lado, se alimenta tanto en entornos urbanos como rurales, de sangre de mamíferos y aves como de humanos, lo que le convierte en un excelente vector puente entre ciclos selváticos y urbanos y entre animales y humanos. Una vez infectado el mosquito por el virus del dengue, este último puede pasar transováricamente a las larvas del mosquito.

En Europa se detectó por primera vez en 1979 en Albania, al parecer procedente de China, y llegó a Italia desde Estados Unidos en el año 1990. Se han localizado también poblaciones (establecidas o no) en Francia, Bélgica, Serbia, Croacia, Montenegro, Israel, Suiza, Grecia y Holanda (Schaffner y Karch 2000; Schaffner et al. 2004; Flacio et al. 2004; Gratz, 2004; Eritja et al. 2005; Samanidou-Voyadjoglou et al. 2005; Scholte et al. 2006). En España se detectó por vez primera en Cataluña en 2004 (Aranda et al. 2006), pero se está expandiendo rápidamente por el litoral mediterráneo (Roiz et al. 2007) (figura 24).

Leishmaniasis

- El cambio climático, en la medida en que predice un aumento en la temperatura global, puede facilitar la presencia de vectores transmisores de *Leishmania* en todo el territorio peninsular, ampliar su periodo de actividad y provocar un aumento considerable de las densidades de sus poblaciones en las zonas donde ya están presentes.
- La evidencia sugiere que las variables climáticas estarían en un segundo plano en cuanto al resurgimiento de la enfermedad. Habría una serie de factores que parecen ser mucho más relevantes, entre los que se encuentran la aparición de cepas resistentes a los tratamientos actuales, el aumento del turismo hacia zonas endémicas, una insuficiente vigilancia epidemiológica que conduce a una subestimación de la enfermedad, y el desconocimiento de las cifras reales de infectados por el parásito.

Figura 24. Distribución conocida actual de *Aedes albopictus*, Europa. Marzo 2013



Fuente: Tomado de ECDC. En mapas VBORNET: http://ecdc.europa.eu/en/activities/diseaseprogrammes/emerging_and_vector_borne_diseases/Pages/VBORNET_maps.aspx

3.4.1. Dengue

3.4.1.1. Transmisibilidad

El virus del dengue es un flavivirus, del que existen 4 serotipos, y que produce un abanico clínico que comprende desde infecciones asintomáticas hasta cuadros hemorrágicos potencialmente letales. La incidencia de dengue en el mundo ha aumentado espectacularmente en las últimas décadas. Más de 2.500 millones de personas —más del 40% de la población mundial— están en riesgo de contraer el dengue. La OMS calcula que cada año se producen entre 50 millones y 100 millones de infecciones por el virus del dengue en el mundo.

Es una enfermedad de ámbito urbano, con epidemias explosivas que alcanzan hasta el 70-80% de la población. La transmisión se realiza por la picadura del mosquito *Ae. aegypti* y en menor grado de *Ae. albopictus* y tiene lugar entre los paralelos 30°N y 20°S. Desde los años 50 se ha observado un resurgir evidente en el sureste de Asia, y desde los años 70 en el continente americano.

El período de incubación extrínseco en el mosquito es de 12 días a 30°C, pero si la temperatura se eleva a 32-35°C este período se reduce a tan solo 7 días. A 30°C, un ser humano con dengue debe infectar a 6 mosquitos para que se produzca un caso secundario, mientras que a 32-35°C tan solo necesita infectar a 2 mosquitos para que esto

se produzca, es decir, se multiplica por 3 veces la capacidad vectorial del mosquito (Rogers y Packer 1993).

3.4.1.2. Dengue en Europa

El dengue es una enfermedad bien conocida en Europa en el pasado. La primera epidemia documentada serológicamente (de manera retrospectiva) fue en Grecia durante los años 1927-1928, con más de 1 millón de infectados y más de 1.000 fallecidos por dengue hemorrágico. Tras la segunda guerra mundial la transmisión de dengue cesó en Europa, probablemente como consecuencia de las campañas de erradicación del paludismo con DDT.

El mosquito *Ae. albopictus* se encuentra bien implantado en Albania desde 1979 y en Italia desde 1990. Se ha detectado su presencia en Francia desde 1999, Bélgica desde el 2000, Suiza desde 2003, España desde 2004, y Países Bajos desde 2005. En la actualidad Europa ya se enfrenta con la posibilidad de brotes de dengue autóctonos, desde que en 2010 se diagnosticaron los dos primeros casos de dengue autóctonos en Francia y un caso de un turista alemán procedente de Croacia (La Ruche 2010; Schmidt-Chanasit 2010), aunque el riesgo teórico es bajo ya que la viremia circulante en los pacientes dura sólo unos pocos días.

En octubre de 2012, se detectó en la isla de Madeira un foco autóctono de dengue, en el que los casos clínicos se produjeron en los habitantes de la isla y turistas procedentes de otros países europeos. El brote transcurrió hasta la primera semana de marzo de 2013 notificándose un total de 2.182 casos.

3.4.1.3. Dengue en España

Desde el siglo XVII se han descrito epidemias que bien podrían haber sido de dengue, en Cádiz y Sevilla desde 1784 hasta 1788 (Rigau 1998). En junio de 1801 la reina de España sufrió un cuadro de presunto dengue hemorrágico, y durante el siglo XIX se produje-

ron epidemias en Canarias, Cádiz y otros puntos del Mediterráneo asociadas a casos importados por mar.

No hay casos documentados de transmisión local de dengue, pero el riesgo en España parece evidente, ya que se dan unas características apropiadas para la transmisión: temperaturas altas en verano y grandes núcleos urbanos en los que las ventanas se mantienen abiertas y con gran actividad en las calles y parques. Aunque en la actualidad *Ae. aegypti*, uno de los vectores más importantes de esta enfermedad, parece haber desaparecido hace décadas de España, se confirmó la presencia de *Ae. albopictus*, el segundo vector en importancia, en Cataluña (Aranda 2006) y Mallorca.

Las condiciones climáticas idóneas para el desarrollo de este mosquito son: más de 500 ml de precipitaciones anuales, más de 60 días de lluvia al año, temperatura media del mes frío superior a 0°C, temperatura media del mes cálido superior a 20°C y temperatura media anual superior a 11°C. Las zonas supuestamente más adecuadas climáticamente para el desarrollo de este vector en España serían Galicia, toda la cornisa del Cantábrico, región subpirenaica, Cataluña, Delta del Ebro, cuenca del Tajo, cuenca del Guadiana y desembocadura del Guadalquivir (Eritja et al. 2005).

3.4.2. Fiebre Chikungunya

La fiebre chikungunya está causada por un Alphavirus, género de la familia Togaviridae, transmitido por la picadura de mosquitos infectados, principalmente de la especie *Aedes*, fundamentalmente *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*.

En Europa se produjo un brote en el noreste de Italia en el año 2007 (Moutallier et al. 2009), donde este mosquito tiene una amplia distribución (Rezza 2009). En este brote se detectó una mutación del virus, (A226V), que favoreció la rápida diseminación, ya que esta

nueva cepa se reproducía con mayor facilidad en las glándulas salivales del mosquito (Gould et al. 2009; Tsetsarkin et al. 2007). En 2010 se produjo un brote autóctono con tres casos en Francia, en el que dos de los casos habían visitado a un niño recién llegado de India con virus Chikungunya (CHIKV) tres semanas antes (Institut de Veille Sanitaire, 2010). Estos casos han alertado sobre el posible riesgo de extensión del CHIKV fuera de zonas endémicas debido al aumento de los viajeros internacionales convencionales, de los inmigrantes e inmigrantes viajeros que viajan a su lugar de origen a zonas endémicas y la importación del virus a áreas donde existen vectores locales competentes.

En España, se han diagnosticado 29 casos importados, sobre un total de 308 pacientes con síntomas consistentes y con coincidencia epidemiológica de viajes a zonas endémicas como islas del océano Índico, el subcontinente Indio e Italia.

3.4.3. Virus del Nilo Occidental

En la actualidad el WNV es el arbovirus más extendido en el mundo, y en las últimas décadas ha cobrado mayor importancia debido a su sorprendente capacidad de invadir nuevas zonas geográficas causando en

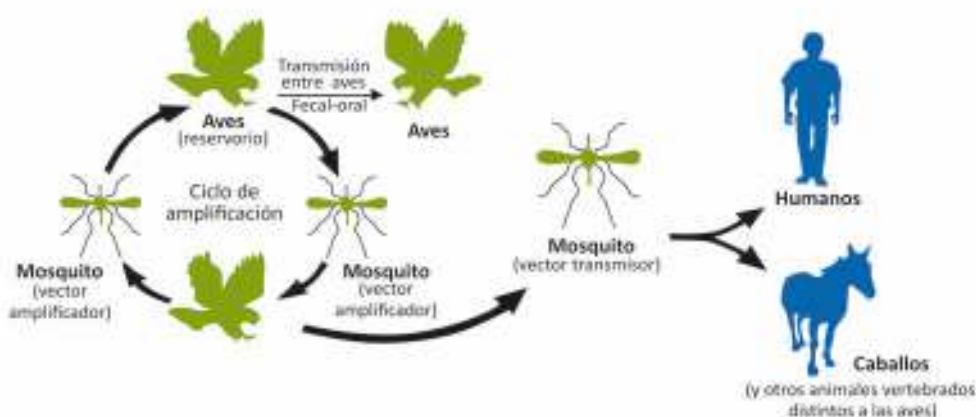
numerosas ocasiones brotes epidémicos de gran virulencia.

3.4.3.1. Transmisibilidad

El WNV pertenece a la familia Flaviviridae, género *Flavivirus*, al que pertenecen otros virus causantes de encefalitis (encefalitis de San Luis, encefalitis equina del este y del oeste y encefalitis equina venezolana) que se transmiten por las picaduras de distintas especies de mosquitos, sobre todo del género *Culex* (*Cx. quinquefasciatus*, *Cx. pipiens*) y de garrapatas. Las aves constituyen el principal reservorio de la enfermedad, un reservorio natural que contribuye a la dispersión del virus fuera de sus zonas endémicas conocidas (figura 25). La transmisión no es posible en zonas con isotermas inferiores a 20°C en verano. Los virus de este grupo producen un cuadro de meningitis o meningoencefalitis que puede dejar secuelas neurológicas permanentes. Aunque primordialmente circula entre aves, también pueden resultar infectadas muchas especies de mamíferos así como anfibios y reptiles.

Se han detectado brotes de encefalitis de San Luis asociados a cambios en el clima en California durante el año 1984 y de encefalitis equina venezolana en Venezuela y Colombia

Figura 25. Ciclo biológico del Virus del Nilo Occidental



Fuente: Adaptado de Blitvich 2008. Tomado de: Informe de Situación y Evaluación del Riesgo de la Fiebre por el Virus del Nilo Occidental. Abril, 2013. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES), Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad

durante el año 1995. El WNV es endémico en África y lo más llamativo ha sido el importante brote que se produjo en Nueva York en el año 1999, con una diseminación explosiva posterior. A finales de 2004, el virus estaba presente en todos los estados continentales (Murray et al. 2010), transmitido por mosquitos del género *Culex* a partir de aves migratorias infectadas. Desde su introducción en 1999 hasta 2010, se han registrado en Estados Unidos más de 30.000 casos clínicos y alrededor de 1.200 muertes en humanos, más de 25.000 casos en equinos y millares de muertes en aves (Reiter 2010).

3.4.3.2. Virus del Nilo Occidental en Europa y regiones limítrofes

Con respecto a Europa y la cuenca mediterránea, se han registrado brotes epidémicos por este virus en el Mediterráneo oriental, en la Camarga francesa en los años 60 del siglo XX, en los alrededores de Bucarest (Rumanía) en 1996, y en Rusia en el año 1999 (Platonov et al. 2001). Destacan también los brotes de 1997 y 2000 ocurridos en Israel (Green et al. 2005; Kopel et al. 2011).

Desde el año 2000 se ha observado un recrudescimiento de la situación, aumentando la incidencia de la enfermedad en aquellos lugares en donde ya había sido observada, como Francia, Hungría, Israel, Italia, Marruecos, Portugal, Rumanía, Rusia y Túnez, y apareciendo en nuevos territorios, como Austria, Bulgaria, España y Grecia.

En 2010 tuvo lugar un significativo aumento de casos humanos en Europa (342 casos clínicos, 41 muertes), en Grecia, Hungría, Rumanía, Italia y España. El brote en Grecia fue el peor que ha ocurrido en la UE hasta hoy, con 35 fallecidos. Las otras muertes por la enfermedad se produjeron en Rumanía y Hungría (5 y 1 casos mortales, respectivamente). Se declaró un nuevo brote en Grecia en el verano del 2011, con 31 casos, que se extendió a áreas (Thessalia y Attiki este) donde antes no existía (Danis et al. 2011). Es

destacable que los primeros casos clínicos por este virus en aves en Europa (Francia, Italia, España, Hungría y Austria) fueron detectados durante la primera década del siglo XXI.

En la temporada de 2013 y hasta el mes de julio se han detectado en Europa 21 casos de esta enfermedad, siendo Grecia el único país afectado de la UE.

3.4.3.3. Virus del Nilo Occidental en España

La cuenca del Mediterráneo y el sur de la Península Ibérica en particular, que acogen a las aves migratorias procedentes de África, constituyen áreas de alto riesgo para la transmisión del WNV. Los estudios de seroprevalencia realizados en España entre los años 1960-1980 demostraron la presencia de anticuerpos en la sangre de los habitantes de Valencia, Galicia, alrededores del Parque Nacional de Doñana y Delta del Ebro, lo que significa que el virus circulaba ya en esas fechas en España (Lozano y Filipe 1998). Es a partir del año 2000 cuando se registran los datos más significativos acerca de la circulación de este virus (Sotelo et al. 2011).

En el año 2005 se detectaron anticuerpos neutralizantes frente a WNV en caballos, en distintas regiones del Parque Nacional de Doñana, mostrando valores de seroprevalencia cercanos al 8% pero sin registrarse casos clínicos (Jiménez-Clavero et al. 2007). Las tasas de anticuerpos positivos en équidos descendieron en los años subsiguientes (Jiménez-Clavero et al. 2010) y no volvió a haber evidencia de circulación de WNV en caballos en España hasta septiembre del año 2010. En esta fecha tuvo lugar una epizootia de WNV con 31 brotes que afectaron a 44 animales en el sur de la provincia de Cádiz, no lejos de la zona de Doñana donde se han hecho la mayor parte de los estudios serológicos citados. Nueve animales sucumbieron a la enfermedad, constituyendo éste el primer brote de enfermedad por WNV en caballos en España (OIE 2010).

Hasta la fecha se han documentado un total de 3 casos clínicos en humanos en nuestro país, todos ellos con signos de meningitis. El primero, en el año 2004, fue un varón de 21 años residente en Cataluña y que había veraneado en Valverde de Leganés (Badajoz) donde presuntamente pudo adquirir la infección (Bofill et al. 2006; Kaptoul et al. 2007). Cabe señalar que en el año 2004 hubo dos casos humanos de enfermedad por WNV en turistas irlandeses que visitaron zonas del Algarve (Portugal) con interés ornitológico (Connell et al. 2004). En esas mismas zonas se detectó poco después actividad del virus en mosquitos (Esteves et al. 2005). Los otros dos casos clínicos tuvieron lugar en Chiclana de la Frontera y en Benalup-Casas Viejas (Cádiz) en septiembre de 2010, coincidiendo con los primeros casos de enfermedad por WNV en caballos citados anteriormente (ProMED-mail 2010; CCAES 2013).

3.4.4. Fiebre amarilla

3.4.4.1. Transmisibilidad

La fiebre amarilla es una enfermedad que está encuadrada dentro de las fiebres virales hemorrágicas y que tiene una mortalidad superior al 40%. Afortunadamente se dispone de una vacuna eficaz para prevenirla. Es endémica en el continente africano y en la Amazonía suramericana, y está transmitida por la picadura del mosquito *Ae. aegypti*.

3.4.4.2. Fiebre amarilla en Europa y en España

España, con sus colonias de ultramar, era especialmente vulnerable a esta enfermedad, registrándose brotes epidémicos asociados a casos importados por vía marítima: en 1856 se produjeron más de 50.000 muertes en Barcelona, Cádiz, Cartagena y Jerez. En ese mismo año fallecieron 18.000 personas en Lisboa y se produjeron otros muchos casos en ciudades portuarias del norte de Italia y del sur de Francia (Eager 1902). *Ae. aegypti* desapareció del Mediterráneo tras la II Guerra

Mundial, muy probablemente a consecuencia indirecta de los programas de erradicación del paludismo, y desde entonces no existe riesgo por esta enfermedad.

3.4.5. Fiebre del Valle del Rift

El virus de la fiebre del Valle del Rift (FVR) se transmite generalmente por mosquitos *Aedes* cuya hembra es capaz, además, de transmitir el virus a los huevos generando adultos infectivos al final del ciclo larvario. Existen otros dípteros aptos para actuar como vectores y que varían en función de cada región. En el último brote de la enfermedad en Mauritania se sospecha que diversas especies de *Culex* pueden haber sido también vectores importantes, aunque la transmisión vertical (a los huevos) solamente se ha demostrado en *Aedes*. El virus de la FVR (familia Bunyaviridae, género *Phlebovirus*) fue identificado por primera vez en la década de 1930 en Kenia. Luego se extendió a casi todos los países africanos, a veces causando grandes epizootias / epidemias.

El virus se detectó en el año 2000 en la Península Arábiga. En 2007-2008 se detectó en los países de África oriental, entre ellos Madagascar, que informó de episodios significativos de infección por el virus, al igual que para el archipiélago de las Comoras y la isla francesa de Mayotte (Pépin et al. 2011).

Por el momento no hay evidencia de casos de la enfermedad en Europa continental, ni autóctonos ni importados, aunque se ha comprobado la existencia de mosquitos que podrían actuar como vectores potenciales de la enfermedad, y se está investigando su capacidad vectorial (WHO 2010). Martín et al. (2008) informaron acerca de la capacidad de tres especies de mosquitos presentes en ciertas regiones de Francia y Túnez (*Ocheloratatus caspius*, *Och. detritus* y *Cx. pipiens*), así como de diferentes colonias establecidas en el laboratorio, para diseminar dos cepas de virus de la FVR. Estos estudios evidencian que *Cx. pipiens* y una colonia de

laboratorio de *Ae. aegypti* son los vectores más efectivos para la transmisión. Teniendo en cuenta la abundancia de *Cx. pipiens* en España, en el sur de Francia y en Túnez, no es despreciable el peligro que supondría la introducción del virus en estas zonas (Arcos et al. 2011).

3.4.6. Virus Usutu

3.4.6.1. Transmisibilidad

El virus Usutu (USUV) es un flavivirus del grupo antigénico de la encefalitis japonesa y transmitido por mosquitos principalmente del complejo de especies *Culex pipiens* y que tiene un origen africano.

3.4.6.2. Virus Usutu en Europa

El USUV ha sido introducido en Europa y se está extendiendo a zonas de Austria, Hungría, Italia, España y Suiza, produciendo la infección tanto en aves como en humanos (Vázquez et al. 2011). De la misma forma que para el WNV, debe considerarse que el USUV puede convertirse en un patógeno residente en Europa.

Sin embargo, la monitorización de USUV en aves muertas en Europa entre 2003 y 2005 mostró una disminución de la mortalidad asociada con este virus, a pesar de la persistencia del virus en los tejidos de las aves analizadas. Este descenso se atribuyó al incremento de la inmunidad en las aves, conforme el virus se extendía por diversas zonas del continente.

3.4.6.3. Virus Usutu en España

En el año 2006, investigadores del Centre de Recerca en Sanitat Animal (CRESA) detectaron una cepa de USUV en mosquitos capturados en Cataluña. Un artículo publicado (Busquets et al. 2008) relata el hallazgo de una cepa de USUV en España, como consecuencia de la monitorización de flavivirus en mosquitos en Cataluña en el marco del plan de vigilancia de Fiebre del Nilo occidental en esa Comunidad. Entre los ejemplares capturados, un

grupo de 3 hembras de *Cx. pipiens*, obtenido en el centro de Viladecans fue positivo al virus, mostrando un 97,97% de homología con la cepa USUV SAAR-1776 de Sudáfrica, así como un 94,94% de semejanza con la cepa USUV Vienna 2001 de Austria y cepa USUV Budapest de Hungría. Los datos de homología mostraron que la cepa española pertenece a las especies de USUV y está más relacionada con los aislados USUV africanos que con los aislados europeos.

Hasta la fecha, no se han asociado muertes de aves observadas en la provincia de Barcelona con encefalitis vírica. Sin embargo, esta es la zona en la que se obtuvieron las muestras positivas a USUV a partir de mosquitos. Una posible explicación para estos hallazgos es que el USUV español podría ser avirulento de forma natural para aves. Alternativamente, el USUV y otros virus relacionados como WNV podrían haber estado circulando por España durante muchos años, como resultado de una reintroducción regular mediante aves migratorias de África. Bajo estas circunstancias, la resistencia genética natural, la inmunidad del grupo y la inmunidad por protección cruzada causada por virus relacionados, proporcionan al menos alguna protección contra las infecciones sintomáticas.

El descubrimiento de ARN específico de USUV, relacionado en gran parte con las cepas africanas de USUV, en *Cx. pipiens* en España, apoya la evidencia previa de que los USUV y flavivirus relacionados, como WNV, se están introduciendo en Europa occidental desde África, presumiblemente a través de aves migratorias.

3.4.7. Virus Toscana

3.4.7.1. Transmisibilidad

Dentro del género *Phlebovirus*, el virus Toscana (VTOS) es el principal agente causal de los cuadros de meningitis aséptica que se producen durante el verano en Italia, país donde se detectó por primera vez. La transmisión del

VTOS se produce tras la picadura de un flebotomo infectado, por lo tanto, su epidemiología está estrechamente ligada a estos dípteros explicándose así su estacionalidad (Sánchez-Seco y Navarro 2005). Aunque se ha detectado este virus en ejemplares de *Sergentomyia minuta* recogidos en Francia, el principal vector descrito en Italia es *Ph. perniciosus*.

A diferencia de la mayoría de los arbovirus, en el ciclo biológico de VTOS no se conoce aún ningún reservorio vertebrado, aunque en España se ha demostrado que este virus puede infectar perros y gatos. De todos modos se piensa que el propio vector juega un papel fundamental como reservorio. La zona de circulación del virus en la cuenca mediterránea coincide con la distribución geográfica de *Ph. perniciosus*.

La transmisión del virus está asociada a la abundancia del vector y, tal como indican los estudios de seroprevalencia, se podría esperar una incidencia alta de la enfermedad por el VTOS además de la presencia de otros virus transmitidos por el mismo vector (Charrel et al. 2005).

3.4.7.2. Virus Toscana en Europa

Se han descrito infecciones por VTOS en Italia, Francia, Portugal, Chipre, Turquía y España.

3.4.7.3. Virus Toscana en España

Aunque el primer caso de meningitis por el VTOS se describió en un turista a su regreso a su país tras una estancia en Mallorca, el virus se detectó por primera vez en España en la provincia de Granada (Mendoza et al. 1998). Se aisló a partir del LCR de pacientes en una serie de casos de meningitis linfocitaria para los que se desconocía el agente etiológico.

Desde entonces, diversos estudios han mostrado que el VTOS es endémico en nuestro país, con una incidencia de enfermedad neurológica menor que en Italia, a pesar de que los niveles de seroprevalencia en

diferentes zonas de ambos países parecen ser similares. Los estudios serológicos realizados en dos regiones de Italia, la Toscana, área con altas densidades de flebotomos, y el Piemonte, situado más al norte y a mayor altitud, encuentran una seroprevalencia entre la población del 22,7% y 2,5%, respectivamente. En tan sólo uno de los estudios realizados en Italia se han descrito 85 casos neurológicos de la infección por el VTOS entre los veranos de 1995 y 1997.

En nuestro país, los niveles de prevalencia oscilan entre un 6% en Madrid y Barcelona y un 26% en Granada y Mallorca (Sambonmatsu et al. 2005; De Ory et al. 2007; Cardeñosa et al. 2009; Leyes et al. 2011). Sin embargo, el número de casos clínicos descritos es de 36, entre 1988 y 2002, y de 40, entre 2001 y 2007. El virus se halla repartido en la provincia de Granada y otras zonas de Andalucía, apareciendo casos en el litoral Mediterráneo y en el interior peninsular, como Extremadura o Valladolid y en mayor número en Madrid (Echevarría et al. 2003; De Ory et al. 2009). Existe una correspondencia entre la distribución geográfica de los casos y la del vector que se encuentra ampliamente distribuido por casi todo el territorio peninsular e Islas Baleares. *Ph. perniciosus* también se encuentra en las Islas Canarias.

Se ha demostrado que en nuestro país existen dos variantes circulantes del VTOS perteneciendo el circulante en Italia al genotipo A y el circulante en España al genotipo B (Sánchez-Seco et al. 2003; Sambonmatsu et al. 2005; Collao et al. 2009). Parece que podría haber una asociación geográfica entre el genotipo del VTOS y la población de *Ph. perniciosus* circulante, correspondiendo el subtipo ibérico con el genotipo español (que ha sido descrito en España y en Francia) mientras que el subtipo circulante en el norte de África, Malta e Italia se asociaría al genotipo italiano que se ha detectado tanto en Italia como en Francia, donde existiría circulación de ambos genotipos (Charrel et al. 2007; Collao et al. 2009).

En una población sana de Granada se ha detectado la infección por un nuevo virus, el virus Granada (VGR) (Collao et al. 2010). Este virus, detectado también en Barcelona, pertenece al complejo antigénico de Nápoles, donde también está englobado el propio virus Nápoles, causante de un cuadro febril conocido como “fiebre de los flebotomos”.

Es evidente que resulta necesario conocer qué flebovirus están circulando en España y su distribución geográfica. Más importante aún sería conocer su capacidad de infectar al hombre y de causar un cuadro clínico. No menos importante sería conocer las especies de flebotomos que los transmiten y si existen vertebrados que pudieran estar actuando como reservorios.

3.5. Enfermedades transmitidas por garrapatas

Las enfermedades transmitidas por garrapatas se encuentran entre aquellas que presumiblemente pueden sufrir variaciones en su distribución o su prevalencia debido al impacto del clima. Es necesario indicar que no es posible aplicar nuestros conocimientos de la biología y ecología de los mosquitos o de los flebotomos para deducir la epidemiología de las enfermedades transmitidas por garrapatas.

Las garrapatas tienen unas características biológicas totalmente diferentes: en los tres estadios de su ciclo vital pueden ser infectados al ingerir sangre de un reservorio competente. Además, las hembras pueden transmitir la infección a la siguiente generación por vía transovárica.

La vida media de una garrapata puede exceder los 3 años, dependiendo de las condiciones climáticas.

No se puede generalizar acerca de las temperaturas que son capaces de soportar las garrapatas. Algunas especies pueden sobrevivir a temperaturas próximas a la congelación, recuperando la actividad vital a partir de los 4- 5°C.

La disminución de la humedad reduce notablemente, de forma general, la viabilidad de los estadios no parasitarios de las garrapatas. Sin embargo, hay especies perfectamente adaptadas a tolerar el entorno seco del ambiente mediterráneo.

El impacto del cambio climático sobre las garrapatas depende de las especies que se consideren y de los patógenos que puedan transmitir. Siguiendo la tendencia hacia temperaturas más templadas y entornos más secos, previstas por los diferentes escenarios

Virus transmitidos por mosquitos o flebotomos

- La expansión de los mosquitos del género *Aedes*, fundamentalmente *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, suponen un riesgo a corto y medio plazo para la salud pública en Europa.
- En la actualidad, Europa ya se enfrenta con la posibilidad de brotes de dengue autóctono, dada la presencia constatada de vectores competentes para la transmisión del virus del dengue en varios países mediterráneos. Por ahora, el riesgo teórico es bajo.
- La cuenca del Mediterráneo y el sur de la península ibérica en particular, que acogen a las aves migratorias procedentes de África, constituyen áreas de alto riesgo para la transmisión del virus del Nilo Occidental.

de clima futuro, algunas especies podrían ver disminuida la extensión de su hábitat idóneo en España, mientras que otras podrían medrar considerablemente.

3.5.1. Enfermedades transmitidas por garrapatas en España

En España el clima y la vegetación varían de norte a sur, afectando a la distribución de garrapatas y por ello la presencia de enfermedades transmitidas por ellas. Barandika et al. (2011) analizaron las obvias diferencias existentes en la distribución de las garrapatas causadas por el claro gradiente de los biomas peninsulares.

Las especies más frecuentes y abundantes en el norte de España son *Ixodes ricinus* (67% de las garrapatas adultas) y *Haemaphysalis punctata* (8%), mientras que *Hyalomma lusitanicum* (86%) y *Dermacentor marginatus* (12%) son las más abundantes en el centro de España. Estos resultados ponen de manifiesto importantes diferencias en su distribución y subrayan la necesidad de establecer programas de vigilancia permanente para monitorear la dinámica de la población de garrapatas y la prevalencia de patógenos transmitidos por ellas.

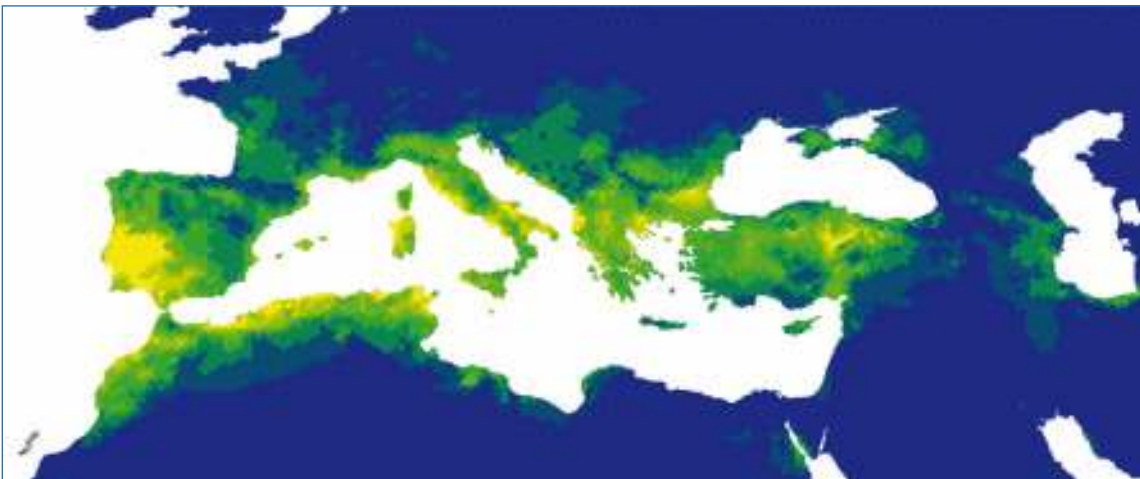
En España, las enfermedades más importantes transmitidas por estos artrópodos son la Fiebre Botonosa y la Borreliosis de Lyme. Las garrapatas más difundidas en España y con importancia sanitaria son *Rhipicephalus sanguineus*, la “garrapata común del perro” implicada en la transmisión de la Fiebre Botonosa Mediterránea, *I. ricinus* implicada en la transmisión de la borreliosis de Lyme, e *Hyalomma marginatum*, vector de distintos agentes patógenos (figuras 26 y 27).

No existen en España casos clínicos comprobados de otra grave enfermedad transmitida por las garrapatas: la encefalitis vírica (TBE de su denominación en inglés). No existe ninguna hipótesis confirmada acerca de cómo se producen los focos de TBE. Por lo tanto, en un

principio es complejo establecer unas pautas acerca de dónde podrían aparecer tales focos. Existe tan solo una hipótesis, que no es verificable en el campo por tratarse de un planteamiento estadístico y no empírico. Tal hipótesis plantea que el clima puede modular el ciclo de la garrapata transmisora para provocar solapamientos de los diferentes estadios de la garrapata sobre el mismo hospedador, para provocar la transmisión entre las garrapatas, sin que se observe una infección sistémica en el “reservorio”. La especie de garrapatas que transmite esta encefalitis, *I. ricinus*, parece ser sensible al calentamiento y a la desecación. Los modelos proyectan que la especie seguramente desaparecería de amplias zonas de España en los escenarios más extremos, aunque podrían quedar poblaciones aisladas en las zonas más frescas de la cornisa cantábrica. Aunque desconozcamos cómo y por qué se producen y se mantienen los focos de encefalitis por garrapatas, sí podemos asegurar que la ausencia de su vector implica, si cabe, una mayor probabilidad de ausencia de la enfermedad.

Por otro lado *R. sanguineus* no depende directamente del clima, sino de la existencia de urbanizaciones y tipos de construcciones periurbanas-rurales que favorecen su desarrollo y colonización (Gray et al. 2013). Ello se produce porque es una especie adaptada a entornos de tipo endófilo y, en algunas ocasiones antropófilo. Así mismo es necesario mencionar que las especies de garrapatas propiamente mediterráneas, como *H. marginatum* o *H. lusitanicum*, pueden tener una importancia cada vez mayor en la afección a la especie humana y en la transmisión de enfermedades.

Figuras 26 y 27. Distribución de la garrapata *H. marginatum* en la cuenca mediterránea y distribución esperada con el clima histórico actual



En la figura 27 el tono azul indica la no presencia, y los diferentes tonos hasta el amarillo indican probabilidad de existencia gradualmente más alta.

Fuente: Tomado de Informe de Situación y Evaluación del Riesgo de Fiebre Hemorrágica de Crimea-Congo (FHCC) en España. Octubre, 2011. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES), Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad

3.5.2. Borreliosis de Lyme

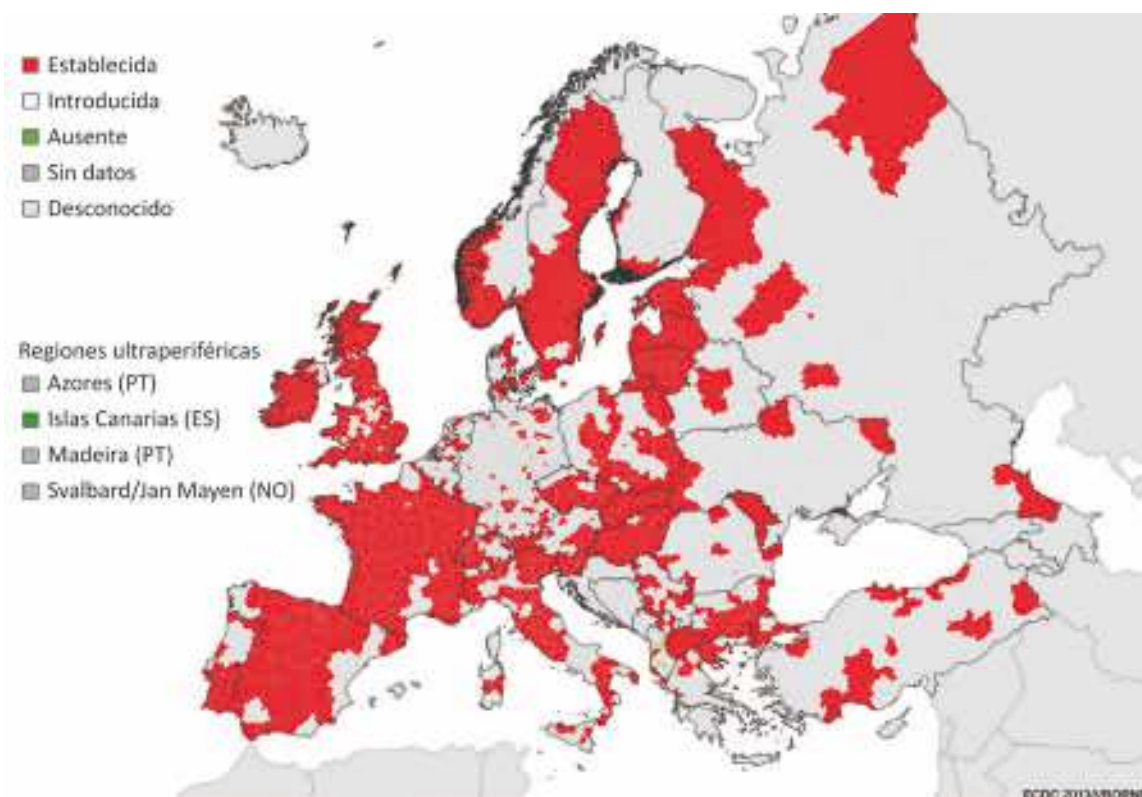
La incidencia de la enfermedad de Lyme se ha incrementado en algunas regiones de Europa. No existe una estadística oficial en Europa, porque no existe una definición acordada sobre qué es un caso clínico de borreliosis de Lyme.

El incremento que se viene detectando en ciertos países, podría estar relacionado con un clima algo más templado, que podría provocar

un aumento local de la densidad de la garrapata vectora, *I. ricinus* (figura 28). Sin embargo, este clima algo más templado también puede favorecer que las personas tengan una mayor actividad en contacto con las zonas naturales, actividad que está obviamente restringida en los países más septentrionales por las bajas temperaturas.

De cualquier forma, no es posible obtener una asociación clara entre el clima y la incidencia

Figura 28. Distribución *Ixodes ricinus*. Marzo 2013



Fuente: Tomado de ECDC. VBORNET . http://www.ecdc.europa.eu/en/activities/diseaseprogrammes/emerging_and_vector_borne_diseases/Pages/VBORNET-maps-tick-species.aspx

de la borreliosis de Lyme, debido al amplio desconocimiento del efecto del clima sobre las actividades humanas (en suma, mecanismos sociales no cuantificados).

En cambio, la información recopilada sobre las tasas de prevalencia de *Borrelia burgdorferi* s.l. en la garrapata vectora, indica que la mayor prevalencia se asocia a los climas más templados y con menos variabilidad estacional (Estrada-Peña et al. 2011).

En el caso de España, como se ha mencionado anteriormente, el cambio climático proyectado probablemente haga desaparecer esta garrapata, quedando únicamente poblaciones aisladas en las zonas más frías de la cornisa cantábrica. No obstante, la borreliosis de Lyme continúa siendo una enferme-

dad de gran impacto en Europa y en España. Es necesario pues establecer un análisis de riesgo por este proceso en España, dado que desconocemos tanto las premisas básicas acerca del marco real de la enfermedad en nuestro país como el impacto de los diversos escenarios de clima.

3.5.3. Fiebre hemorrágica de Crimea-Congo

El virus causante de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo (CCHF por sus siglas en inglés) tiene la mayor extensión geográfica de todos los virus transmitidos por garrapatas. Es una enfermedad endémica en más de 30 países de Eurasia y África. Durante la última década, han surgido nuevos focos o han reaparecido en los Balcanes y las zonas vecinas. Se ha registrado un aumento del número de casos

de esta enfermedad y se han descrito nuevas epidemias y brotes en Pakistán, Irán, Senegal, Kenia, Mauritania y Europa.

En la cuenca Mediterránea europea, se han registrado casos en Turquía, Grecia, Francia y Portugal (los últimos por viajes a países endémicos). Los casos suelen aparecer en mayor número en primavera y otoño, asociados con la estacionalidad de las garrapatas. El virus de la CCHF se ha aislado en alrededor de treinta especies de garrapatas, entre las que se encuentran las especies europeas *D. marginatus* y *H. marginatum*. Esta última se perfila como vector más importante de la enfermedad, con transmisión transestadial y transovárica, (Sheperd 1998) lo que implica que el virus puede perpetuarse en las poblaciones del vector.

Desde hace aproximadamente una década, se ha constatado un aumento en el número de casos en ciertas zonas de Europa y Oriente próximo. Se ha comprobado, no obstante, que las tendencias del clima no parecen tener ninguna influencia sobre la epidemia en Turquía, que continúa desde el año 2002 (Estrada-Peña et al. 2010). Turquía es el país de la cuenca mediterránea que está registrando un mayor incremento en el número de brotes. En Grecia, falleció una mujer por esta causa en junio de 2008 (Papa 2008). Durante marzo y abril de ese mismo año se habían declarado seis casos de la enfermedad en Bulgaria, conocida área endémica y limítrofe con Grecia (Kunchev 2008).

En agosto de 2011, el Instituto de Salud Pública de Albania informó de 2 casos de CCHF en la prefectura de Korca (Kolonja), en

la frontera con Grecia, relacionados con la picadura de una garrapata. En Italia no se ha diagnosticado hasta el momento ningún caso, aunque se mantiene la vigilancia porque se conoce la presencia del vector desde hace al menos 70 años. El único caso detectado en Francia fue el de una mujer que previamente había estado como turista en Senegal, una zona considerada endémica.

En España no se ha detectado todavía ningún caso, pero se contemplan tres graves factores de riesgo remarcables: la existencia de un clima adecuado al que se asocian densas poblaciones de la garrapata *Hyalomma* y los hospedadores adecuados para los estadios adultos (ungulados).

Además, se conocen numerosos casos de entrada de garrapatas procedentes de África, y potencialmente infectadas, mediante los viajes migratorios de las aves. Parece probable que en España no existen aún casos clínicos debido a una falta de contacto entre las personas y las garrapatas infectadas. Se deberían esperar problemas clínicos por este virus, en los casos en los que estas relaciones se cambien, y aumente la tasa de contacto entre el vector y la especie humana ya que el virus ha sido ya aislado de garrapatas capturadas en España (Estrada-Peña et al. 2012).

3.5.4. Fiebre Botonosa Mediterránea

La Fiebre Botonosa Mediterránea es una enfermedad causada por *Rickettsia conorii* y transmitida por la especie de garrapata *R. sanguineus*, la cual actúa como reservorio. Se encuentra ampliamente distribuida por el sur de Europa, África y Oriente Medio.

Enfermedades transmitidas por garrapatas

- Según los diferentes futuros escenarios previstos de clima (temperaturas más templadas y entornos más secos) determinadas especies de garrapatas podrían ver disminuida la extensión de su hábitat idóneo en España, mientras que para otras podría aumentar considerablemente.

Se han confirmado casos en Portugal, Italia, Malta, Grecia, Croacia, España, Francia, Turquía, Argelia, Túnez y Marruecos. Se sospecha que la enfermedad es endémica en Eslovenia, Albania, Ucrania y Georgia, pero el agente etiológico no ha sido aislado en los estudios de laboratorio.

Los países de la cuenca del Mediterráneo, como España, Portugal e Italia, han informado de un aumento en la incidencia de la enfermedad en los últimos doce años (Pittalis et al. 2009). Otros estudios muestran aumentos de incidencia ya en los años ochenta en Italia (Rovero et al. 2008), España y sur de Francia (Mansueto et al. 1986). Los casos de Fiebre Botonosa Mediterránea han aumentado en los últimos años en las Comunidades ribereñas del Mediterráneo como Andalucía, Baleares, Comunidad Valenciana y Cataluña.

Si tenemos en cuenta que esta garrapata tiene una gran capacidad de adaptación y que su tasa de transmisión se dispara en los meses más cálidos y en las zonas de climas más áridos (De Sousa et al. 2006), es razonable deducir que la tendencia climática prevista prolongaría la temporada de máximo contagio al darse altas temperaturas durante la primavera y el otoño.

Se ha indicado que determinados factores, aparte del puramente climático, podrían estar relacionados con el aumento de casos, citándose el incremento del número de garrapatas y el incremento del contacto de los humanos con el hábitat de estas garrapatas infectadas; la posibilidad de una mayor alerta entre los sistemas de salud, que hace que se

diagnostique un mayor número de casos; el crecimiento de las periferias de las grandes ciudades en los años 80 que transformaron terrenos rurales en áreas urbanas; la aparición de nuevos métodos diagnósticos como la microinmunofluorescencia; y el incremento del turismo a zonas endémicas como España, Francia o Italia (Raoult et al. 1992).

3.6. Enfermedades transmitidas por roedores

3.6.1. Transmisibilidad

Los roedores pueden albergar a otros vectores como garrapatas y pulgas (*Xenopsylla cheopis*, *Ctenocephalides felis*.) que transmiten la peste y el tifus murino. Además, pueden ser hospedadores intermediarios o reservorios de varias enfermedades como leptospirosis, fiebres virales hemorrágicas (Junin, Machupo, Guaránito, Sabia, Lassa), hantaviriosis, himenolepiasis, entre otras.

Tanto la población de roedores silvestres como la posibilidad de contacto entre roedor-humano en las zonas urbanas están muy influenciados por los cambios ambientales. Los años de sequía podrían disminuir el número de predadores naturales de roedores, y las lluvias aumentarían el alimento disponible (semillas, nueces, insectos).

3.6.2. Enfermedades por virus Hanta

En Europa y Rusia el virus Hanta más relevante es el virus *Puumala*, cuyo vector principal es *Myodes glareolus* (Dujardin et al. 2008).

Vulnerabilidad

- España se encuentra situada en una latitud geográfica apropiada para la permanencia de los vectores que ya existen para la entrada de otros procedentes del norte de Europa.
- Las predicciones de cambio climático en España que apuntan hacia unos inviernos más lluviosos y cálidos, seguidos de veranos calurosos y secos, propiciarían condiciones climáticas favorables para el establecimiento y proliferación vectorial.

Estudios empíricos han puesto de manifiesto un aumento de la incidencia de las enfermedades causadas por hantavirus en Europa en los últimos años, especialmente en algunos países, en comparación con las décadas anteriores (Arcos et al. 2011). En Bélgica, la nefropatía epidémica (NE) se ha convertido en la causa infecciosa más importante de insuficiencia renal aguda, con un fuerte aumento en la incidencia (Clement et al. 2009).

El aumento de los casos estaría asociado con altas densidades del ratón de campo, que se vería favorecido por las temperaturas más altas y las mayores precipitaciones en otoño, que favorecen la disponibilidad de alimento para los ratones. Al reproducirse en mayor número, al año siguiente se detecta un pico en las enfermedades producidas por el virus *Puumala*.

Por otro lado, los inviernos cálidos en los países escandinavos han llevado a una disminución en las poblaciones de ratón de campo, como resultado de la falta de protección que proporcionaba la capa de nieve (Klempa 2009).

En el noroeste de Grecia, en 2009, también reaparecieron casos de fiebre hemorrágica con síndrome renal, tras décadas sin haberse declarado ninguno, a pesar de la probada presencia de virus Hanta en los roedores de dicha zona (Clement et al. 2009).

Con la excepción de estos casos, en la vertiente europea de la cuenca mediterránea no se ha encontrado otras evidencias de que estas enfermedades sean un peligro inmediato, ya que la presencia del vector es escasa en la mayoría de ese territorio. En España se han detectado hantavirus en zorros, en roedores y en sueros de humanos. El resurgimiento en los países vecinos es un factor que indica la necesidad de reforzar la vigilancia epidemiológica de estos procesos.

4. Zonas más vulnerables

España es un país en el que se podría ver incrementado el riesgo de las enfermedades mencionadas anteriormente como consecuencia de las tendencias detectadas en el clima de los últimos 100 años.

Estos cambios en el clima están modificando distintas características del medio, que favorecen que se establezcan en nuevas zonas los vectores de varios agentes patógenos. En este marco, el aumento de los viajes, del turismo, del comercio y de la migración hacia y desde países fuera de la región europea incrementan el riesgo de introducción accidental tanto de los vectores transmisores de enfermedades, como de los agentes patógenos. El aumento de la inmigración de poblaciones desplazadas puede contribuir a elevar el riesgo de introducción de nuevos patógenos (López-Vélez et al. 2005) aunque las condiciones bajo las cuales tales patógenos pueden producir focos de infección son desconocidas. Para el establecimiento de auténticas áreas de endemia se necesitaría la conjunción de otros factores, tales como el aflujo masivo y simultáneo de reservorios animales o humanos y el deterioro de las condiciones socio-sanitarias y de los servicios de salud pública.

El incremento de temperatura en Europa en la última década ha sido de 1,3°C sobre el nivel pre-industrial, pero este calentamiento no ha sido uniforme, ya que el mayor incremento se ha producido en los inviernos y en el norte del continente. De continuar esta tendencia, es posible que la elevada mortalidad vectorial, que actúa como un regulador poblacional durante los inviernos, disminuya en estas zonas. España se encuentra muy lejos de este efecto amortiguador poblacional invernal, y es preciso comprender que nuestro país se encuentra en una latitud geográfica apropiada para la permanencia de los vectores que ya existen, y de la entrada de otros procedentes del norte de Europa.

Las predicciones de cambio en España que apuntan hacia unos inviernos más lluviosos y cálidos, seguidos de veranos calurosos y secos, propiciarían condiciones climáticas favorables para el establecimiento y proliferación vectorial. El posible riesgo vendría por la importación e instalación de vectores tropicales y subtropicales adaptados a sobrevivir en estos tipos de clima (como ejemplo: *Ae. albopictus* y *Ae. Aegypti*, garrapatas del género *Hyalomma*).

Debe tenerse en cuenta el posible incremento en extensión de vectores propios de zonas esteparias y secas, o incluso la entrada de patógenos propios del norte de África.

5. Principales opciones adaptativas

La previsión de problemas dependerá de la investigación exhaustiva del análisis del riesgo basado en escenarios futuros. Se deben estudiar las consecuencias sanitarias del cambio climático teniendo en cuenta la multitud de factores ambientales y conductuales que influyen en estas enfermedades. Una mayor comprensión de los riesgos y los efectos del cambio climático para la salud promoverá y facilitará tanto cambios de comportamiento como el apoyo por parte de la sociedad de las medidas adoptadas.

Es fundamental el reconocimiento del riesgo a nivel oficial, aconsejándose la colección de datos climáticos y de estadísticas de enfermedades infecciosas, así como de la dinámica poblacional de los vectores y los procesos que rigen sus ciclos vitales en la naturaleza, con preferencia en gradientes de altitud para simular un abanico completo de condiciones climáticas. Su objetivo es la instauración precoz, en casos de alerta, de campañas adecuadas de salud pública que disminuyan la vulnerabilidad de la población a las enfermedades infecciosas, mediante estrategias de control de vectores (McCarthy 2001; Hunter 2003).

Las estrategias ambientales integrales han de formar parte de cualquier intervención que aspire a maximizar la capacidad de prevención, en lugar de limitarse a actuar sobre la constelación de factores individuales que influyen en las enfermedades.

Es necesario aumentar la sensibilización acerca de los efectos del cambio climático en la salud, para impulsar la adopción de medidas de salud pública. Una mayor sensibilización contribuirá a que las y los profesionales de la salud lideren el apoyo a la adopción de estrategias rápidas y amplias de mitigación y adaptación, que mejorarán la salud y reducirán la vulnerabilidad sanitaria.

Los médicos deben fortalecer sus vínculos no solamente con las autoridades sanitarias y los científicos médicos, sino también con científicos especializados en ciencias de la tierra y ambientales y los responsables de formular las políticas al respecto. De no ser así, no lograremos los objetivos marcados por la resolución de la OMS (WHA62 2009).

6. Repercusiones sobre otros sectores

La repercusión fundamental de la reintroducción o diseminación de las enfermedades transmitidas por vectores en otros sectores diferentes al de la Salud Pública afectaría de manera destacada al [sector del turismo](#). Un aumento de estas enfermedades en las zonas de turismo podría disuadir al viajero de elegir tales destinos, con las consecuencias que esto acarrearía.

Los [sectores de agrícola y forestal](#) se correlacionan muy estrechamente con el hábitat y los ecosistemas donde los vectores encuentran su óptimo de supervivencia.

También *el sector de los seguros* puede ser, económicamente hablando, un sector afectado, en particular los seguros de salud y vida.

7. Principales incertidumbres y desconocimientos

7.1. Los vectores: mosquitos, flebotomos y garrapatas

Los principales vectores de las enfermedades que se han venido tratando anteriormente son sensibles a los cambios de temperatura y humedad ambiental. Se sabe que esas variables del clima, finamente acopladas, son las causantes de la presencia o la ausencia de tales vectores.

Sabemos a partir de estudios de laboratorio y de algunos escasos datos empíricos, que los vectores son susceptibles de ver cambiados los parámetros de su ciclo vital debido a los cambios en el clima.

Somos también capaces de deducir la tendencia de la población de vectores cuando se enfrenta a un nuevo escenario climático. Sin embargo, estas conclusiones son simplistas, pues somos incapaces de integrar un escenario completo, con todos sus actores (vegetación, paisaje, animales, costumbres y modos de vida humanos) en un marco adecuado, sólido y coherente.

7.2. Enfermedades infecciosas

Aparte de las observaciones asociadas a las oscilaciones periódicas naturales, hasta ahora no se ha podido probar de manera fehaciente que el cambio climático experimentado en las últimas décadas haya aumentado el riesgo global de transmisión de las enfermedades transmitidas por artrópodos, pero sí hay suficiente evidencia científica para sospecharlo.

Las predicciones matemáticas realizadas auguran un aumento del riesgo siempre y cuando el cambio climático continúe produciéndose en la misma dirección, algo que en estos momentos no admite ninguna duda. Sin embargo, algunos expertos se han mostrado escépticos acerca de las predicciones simplistas, ya que la historia natural de las enfermedades transmitidas por artrópodos es compleja. Aunque no se haya podido alcanzar un alto grado de fiabilidad en los resultados de los modelos, sí parece obvio que estos modelos nos proporcionan una panorámica, aunque sin poder entrar en el “grano fino” de la fotografía.

Además del cambio climático, son muchos los factores que pueden influir la epidemiología de las enfermedades vectoriales, como la composición atmosférica, la urbanización, el desarrollo económico y social, el comercio internacional, migraciones humanas, desarrollo industrial, uso de la tierra, los regadíos y el desarrollo agrícola (Sutherst 2004). El resurgir reciente de muchas de estas enfermedades en el mundo podría más bien atribuirse a cambios políticos, económicos y de actividad humana más que a cambios climáticos.

Principales opciones adaptativas

- Es fundamental el reconocimiento y la evaluación del riesgo para los diferentes vectores, aconsejándose la colección de datos climáticos y de prevalencia de enfermedades de transmisión vectorial. Es necesario profundizar en el estudio de la dinámica poblacional de los vectores y los procesos que rigen sus ciclos vitales en la naturaleza, según gradientes de altitud para cubrir un amplio abanico de condiciones climáticas.

Por tanto, el clima por sí solo no es una causa suficiente para la instauración de focos endémicos en España, aunque sí un requisito.

Se necesitaría un número suficiente de individuos simultáneamente infectados para constituir un reservorio de la infección. Los inmigrantes semiinmunes pueden albergar parásitos durante muchos meses de forma paucisintomática, pudiendo ser reservorios eficaces de enfermedades. Aunque el incremento del turismo e inmigración de zonas endémicas puedan importar casos, éstos no serían los suficientes en número como para iniciar una epidemia, pudiendo, a lo más, originar focos muy locales de transmisión autolimitada y casos de infecciones de aeropuerto (Hunter 2003).

8. Detección del cambio

Como se ha mencionado, no existe una evidencia inequívoca de que el cambio climático acontecido hasta la fecha haya modificado sustancialmente la casuística de las enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por vectores.

La colección de datos de forma prospectiva y la investigación de manera precoz en el triángulo de interacción “cambio climático-vectores-población” tendría el beneficio de la creación de un banco de datos que sería de extrema utilidad. Estos sistemas deberían incluir, además, variables como cambios demográficos, económicos y ambientales, pues los cambios en la epidemiología de las enfermedades infecciosas más puede deberse a estos últimos factores que al cambio climático en sí.

Se debería investigar la prevalencia de ciertas enfermedades, como las flaviviriasis, mediante estudios de seroprevalencia en las poblaciones de riesgo. Además, se deberían estudiar las poblaciones de vectores para la detección precoz de nuevas especies y para la determinación de la dispersión geográfi-

ca de las poblaciones de especies foráneas recientemente detectadas (como es el caso de *Ae. albopictus*). Estos estudios deberían ser lo suficientemente eficientes y exactos para detectar mínimos cambios en la salud. Desafortunadamente, los sistemas actuales de monitorización vectorial no responden a estas premisas.

En esencia, la detección del cambio pasa por la detección de microorganismos patógenos:

- en los vectores (virus del dengue o de la encefalitis del Nilo occidental en mosquitos, virus de la fiebre hemorrágica de Crimea Congo y espiroquetas del género *Borrelia* en diversas especies de garrapatas);
- en los reservorios naturales (roedores, aves o équidos) y;
- en los humanos (tanto de habitantes asintomáticos de áreas de riesgo como de pacientes ingresados con patologías compatibles, mediante análisis de sangre, suero, líquido cefalorraquídeo, etc.).

Es necesario que los muestreos y seguimiento de los cambios poblaciones de los vectores (presencia y densidad) sean llevados a cabo de forma sistemática en el tiempo, seleccionando unas zonas que reúnan una serie de requisitos, como los gradientes de altitud con objeto de simular la mayor variedad de situaciones posibles. Al menos en el caso de los vectores, y dada la variabilidad espacial de España, es también preciso establecer unas pautas acerca de la inclusión de zonas representativas de los biotopos presentes en el país, y de su potencial para albergar poblaciones de vectores.

9. Implicaciones para las políticas

España ha sido uno de los países modelo en cuanto al desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático en todos los sectores

(uso de recursos hídricos, sistemas de agricultura, comunicación del riesgo del exceso del calor, etc.). Esto es el resultado de una larga historia de adaptación a condiciones climáticas difíciles en muchas regiones en cuanto a la escasez de agua, las sequías y las olas de calor se refiere.

España es uno de los primeros países europeos que ha desarrollado un PNACC. Este plan y su primer programa de trabajo fueron aprobados en 2006 por la CCPPCC y el Consejo Nacional del Clima. El PNACC ofrece un marco de referencia para la coordinación entre las administraciones públicas en las actividades de evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en España, y hace referencia a los temas de salud (Tirado 2010).

En España, se ha desarrollado recientemente la normativa Real Decreto 1628/2011 de 14 de Noviembre, en la que se regula el listado y catálogo español de especies exóticas invasoras, entre las que se incluye a *Ae. albopictus*. Dos de los objetivos específicos de este Real Decreto son:

- 1) establecer las medidas necesarias para prevenir la introducción de especies exóticas invasoras y para su control y posible erradicación, y
- 2) establecer las características y el contenido de las estrategias de gestión, control y posible erradicación de las especies exóticas invasoras.

Bajo esta normativa se recoge la responsabilidad de las administraciones competentes para adoptar las medidas de gestión, control y posible erradicación de las especies incluidas en el catálogo y listado. Estas medidas irán siendo adoptadas según las prioridades determinadas por la gravedad de la amenaza y el grado de dificultad previsto para su erradicación. En el Artículo 13 de la normativa mencionada se detallan las estrategias definidas para tal efecto.

La emergencia de enfermedades transmisibles es un grave problema para la salud pública, existe un amplio rango de fenómenos que se encuentran detrás de la emergencia de una enfermedad o el aumento sin precedentes de enfermedades previamente endémicas. Este aumento se observa especialmente entre las enfermedades transmitidas por vectores.

Los factores implicados en la emergencia de estas enfermedades pueden ser medioambientales cuando de forma natural o por modificaciones realizadas por el hombre afectan a las interacciones entre el hombre, el patógeno, el vector y el reservorio e influyen en la transmisión del patógeno; y demográficos como las migraciones. Los movimientos de población y mercancías consecuencia del incremento en el número de viajes internacionales y en el aumento del comercio facilitan los grandes desplazamientos del patógeno, el vector y el hombre.

El cambio climático afecta a la temperatura y a la humedad, factores que actúan incrementando la probabilidad de transmisión de la infección al aumentar la supervivencia del vector, disminuir la duración del ciclo biológico del parásito en el vector y modificar sus hábitos alimenticios.

Esta variedad de factores que actúan influyendo en la compleja dinámica de la transmisión de estas enfermedades, requiere la puesta en marcha de estrategias de control que actúen sobre todos los componentes del ciclo de transmisión. Se necesita un plan genérico integral que aglutine a los profesionales de las diversas disciplinas implicados en la preparación y en la respuesta ante una emergencia. Este plan serviría para identificar las evidencias disponibles sobre las medidas para controlar la emergencia de enfermedades transmitidas por vectores; también para definir las situaciones de riesgo ante las que será necesario activar dicho plan, y establecería los mecanismos de coordinación intersectorial con el fin de evaluar en cada situación la información necesaria para tomar medidas

de control, en relación al manejo de pacientes, el control vectorial, la gestión del medio ambiente y la información a la población.

El componente de preparación requerirá reforzar la vigilancia entomológica en las áreas de mayor riesgo de circulación del/ de los parásito/s con el fin de identificar las especies presentes y determinar los vectores potenciales, identificando los hábitos alimenticios de los vectores implicados en la transmisión y sus tasas de infección por el parásito. La información sobre resistencias a pesticidas e insecticidas en la zona es esencial para que la respuesta sea eficaz. Así, las acciones deberían contemplar:

- Establecer una vigilancia epidemiológica proactiva en las áreas en donde se identifique transmisión del patógeno, identificando los factores de riesgo determinantes y elaborando modelos que expliquen la transmisión de la enfermedad.
- Garantizar la capacidad de los laboratorios de referencia para la identificación de los vectores y los patógenos y de los centros asistenciales para realizar el diagnóstico de la enfermedad.
- Desarrollar proyectos de investigación que a partir de los factores condicionantes permitan predecir las zonas geográficas de mayor riesgo para la transmisión.
- Colocar entre las prioridades de la salud pública el desarrollo de programas de control de las enfermedades transmitidas por vectores. Garantizar la formación de profesionales en entomología médica.

Cuando se detecta transmisión autóctona de una enfermedad transmitida por vectores, los programas de control vectorial se establecen para reducir o interrumpir la transmisión de la enfermedad. Las estrategias de control vectorial se dirigirán a romper la transmisión especialmente en el ámbito doméstico y peridoméstico.

Los métodos de control pueden ser químicos, medioambientales y de protección personal. La OMS recomienda que se utilice más de un método en el contexto de una gestión integral del brote.

Además de los programas de control de mosquitos en España han de aplicarse las regulaciones de inspección, certificación y cuarentena de los productos de comercio procedentes de zonas endémicas que puedan transportar vectores, tales como ruedas usadas o plantas exóticas como el llamado “bambú de la suerte”.

A nivel europeo en 2004 inició su andadura una red integrada por un consorcio de investigadores europeos, entre los que se encuentra España. La propuesta, denominada Enfermedades Emergentes en un Medio Europeo Cambiante (EDEN), está centrada en los efectos que los cambios medioambientales ejercen sobre la emergencia de las enfermedades transmitidas por vectores en Europa.

Se lograron desarrollar algunos modelos predictivos de emergencia y dispersión que incluyeran prevención global y regional, sistemas de alerta temprana, vigilancia, monitorización de herramientas y descripción de escenarios.

Esta iniciativa tiene continuidad en el proyecto EDENext, un consorcio que aglutina a 46 instituciones de investigación y salud pública de 22 países, la mayoría europeos, cuyo objetivo principal es la biología y el control de las infecciones transmitidas por artrópodos en Europa.

El abordaje es diferente pues investiga los componentes biológicos, ecológicos y epidemiológicos de la introducción, emergencia y dispersión de las enfermedades transmitidas por artrópodos con el objeto de crear nuevas herramientas para su control. Se circunscribe a enfermedades transmitidas por garrapatas, culícidos, culicoides, flebotomos y roedores e insectívoros.

Por su parte, el ECDC mediante el Programa de Enfermedades emergente y transmitidas por vectores mantiene redes y grupos de trabajo, entre otras VBORNET “*European Network for Arthropod Vector Surveillance for Human Public Health*” con el objetivo de establecer una red de profesionales de salud pública (especialmente entomólogos) en la UE, apoyar al ECDC y Países Miembros en el fortalecimiento de las actividades de vigilancia de las enfermedades transmitidas por vectores, para mejorar el conocimiento entomológico relacionado con salud pública.

Muy sucintamente, las implicaciones para las políticas las podríamos resumir en:

- Fomentar y desarrollar los Programas de Vigilancia y Control de las Enfermedades de Transmisión Vectorial, con una financiación suficiente y estable.
- Mejorar la coordinación con otros programas de vigilancia a nivel nacional.
- Aunar la investigación entre los distintos grupos de investigación que trabajen en campos diferentes y pertenezcan a distintas disciplinas, tales como veterinaria, epidemiología, entomología, zoología y medicina.
- Dotar de forma adecuada a los laboratorios de referencia y a los laboratorios asistenciales de los hospitales para el diagnóstico seguro de las enfermedades vectoriales.
- Difundir el conocimiento existente mediante cursos de formación específicos en las Universidades españolas.

10. Principales necesidades de investigación

Las principales líneas de investigación deberían centrarse en:

- Diseño de modelos basados en áreas y poblaciones de riesgo.
- Elaboración de mapas de riesgo (mensuales) para España de las especies de vectores más importantes. Se debería de incluir un índice de riesgo general y un estudio pormenorizado de cada uno de los patógenos.
- Establecimiento de una metodología y la forma de expresar el riesgo, coherente y similar para todas las especies implicadas.
- Diseño de modelos de validación entre los datos climáticos pasados y los presentes con la frecuencia de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores.
- Realización de muestreos de poblaciones, vectores y reservorios.
- Estudios de cambios en la distribución o alteración en la frecuencia de transmisión de las enfermedades más susceptibles de ser influenciadas: dengue y otros flavivirus, paludismo, leishmaniasis y rickettsiosis, borreliosis de Lyme y fiebre hemorrágica de Crimea-Congo en las garrapatas.
- Desarrollo de nuevas pruebas de diagnóstico rápido.

11. Bibliografía

- Abanades C, Cuadrat JM, Castro M, Fernández F, Gallastegui C, Garrote L, Jiménez L, Juliá R, Losada I, Monzón A, Moreno J, Pérez J, Ruiz V, Sanz M, Vallejo R.** El cambio climático en España. Estado de situación. Documento resumen. Dirección General del instituto para la Diversificación y el ahorro de la Energía y Oficina española de Cambio Climático. 2007; 42 pp.
- Abranches P, Conceicao-Silva FM, Ribeiro MMS, Lopes FJ, Teixeira-Gómez L.** Kala-azar in Portugal. **IV.** The wild reservoir: the isolation of a Leishmania from a fox. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1983; 77: 420-1.
- Alcover MM, Gramiccia M, Di Muccio T, Ballart C, Castillejo S, Picado A, Portús M, Gállego M.** Application of molecular techniques in the study of natural infection of *Leishmania infantum* vectors and utility of sandfly blood meal digestion for epidemiological surveys of leishmaniasis. *Parasitol Res.* 2012 Aug; 111(2):515-23. Doi: 10.1007/s00436-012-2863-4. Epub 2012 Mar 2.
- Alvar J, Amela C, Molina R.** El perro como reservorio de la leishmaniasis. *Med Vet.* 1995; 12(7-8): 431-8.
- Alvar J, Aparicio P, Aseffa A, Den Boer M, Cañavate C, Dedet JP, Gradoni L, Ter Horst R, López-Vélez R, Moreno J.** The relationship between leishmaniasis and AIDS: the second 10 years. *Clin Microbiol Rev.* 2008; 21: 334 – 359.
- Alves-Pires CA.** Os flebotomos (Diptera, Psychodidae) dos focos zoonóticos de leishmanioses em Portugal. PhD Thesis. Universidade Nova de Lisboa, Portugal; 2008.
- Amela C, Mendez I, Torcal JM, Medina G, Pachón I, Cañavate C, Alvar J.** Epidemiology of canine leishmaniasis in the Madrid region, Spain. *Eur J Epidemiol.* 1995; 11:157-61.
- Aranda, C., R. Eritja, D. Roiz.** First record and establishment of *Aedes (Stegomyia) albopictus* in Spain. *Medical and Veterinary Entomology.* 2006; 20: 150-152.
- Arcos González PI, Escolano Escobar C.** Enfermedades de transmisión vectorial potencialmente emergentes en la cuenca mediterránea y su posible relación con el cambio climático. *Emergencias.* 2011; 23 (5):386-393.
- Ballart C, Alcover MM, Portús M, Gállego M.** Is leishmaniasis widespread in Spain? First data on canine leishmaniasis in the province of Lleida, Catalonia, northeast Spain. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2012; 106(2):134-6
- Barandika JF, Olmeda SA, Casado-Nistal MA, Hurtado A, Juste RA, Valcárcel F, Anda P, García-Pérez AL.** Differences in questing tick species distribution between Atlantic and continental climate regions in Spain. *J Med Entomol.* 2011; 48(1):13-9.
- Barón SD, Morillas-Márquez F, Morales-Yuste M, Díaz-Sáez V, Irigaray C, Martín-Sánchez J.** Risk maps for the presence and absence of *Phlebotomus perniciosus* in an endemic area of leishmaniasis in southern Spain: implications for the control of the disease. *Parasitology.* 2011; 138: 1234-1244.
- Bern C, Maguire JH, Alvar J.** Complexities of assessing the disease burden attributable to leishmaniasis. *PLoS Negl Trop Dis.* 2008; 2 (10):e313.
- Bettini S, Pozio E, Gradoni L.** Leishmaniosis in Tuscany (Italy). II. Leishmania from wild Rodentia and Carnivora in a human and canine leishmaniasis focus. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1980; 74: 77-83.
- Bertzoglou C, Dekas K, Charvalos E.** Climate changes, environment and infection: facts,

- scenarios and growing awareness from the public health community within Europe. *Anaerobe*. 2011; 17(6):337-40.
- Bofill D, Domingo C, Cardeñosa N, Zaragoza J, Ory F, Minguell S, Sánchez-Seco MP, Domínguez A, Tenorio A.** Human West Nile virus infection, Catalonia, Spain. *Emerg Infect Dis*. 2006; 12 (7): 1163–1164.
- Bueno Marí R, Jiménez Peydró R.** Malaria in Spain: entomological aspects and future outlook. *Rev Esp Salud Publica*. 2008; 82(5):467-79.
- Bueno Marí R, Jiménez Peydró R.** Could malaria and dengue reappear in Spain? *Gac Sanit*. 2010; 24 (4): 347-53.
- Busquets N., Alba A., Allepuz A., Aranda C., Ignacio Nuñez J.** Usutu virus sequences in *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae), Spain. *Emerg. Infect. Dis*. 2008; 14 (5): 861-863.
- Campino L, Maia C.** [Epidemiology of leishmaniasis in Portugal]. *Acta Med Port*. 2010; 23 (5):859-64.
- Cardeñosa N, Romero M, Quesada M, Oviedo M, Carmona G, Codina G, Jansà JM, Domínguez A; Pertussis Working Group of Catalonia.** Is the vaccination coverage established enough to control pertussis, or it is a re-emerging disease? *Vaccine*. 2009 May 26; 27(25-26):3489-91. Doi: 10.1016/j.vaccine.2009.01.046. Epub 2009 Feb 5.
- CDC 2012.** http://www.cdc.gov/malaria/new_info/2012/malariagreece_12-21-2012.html
- Charrel RN, Gallian P, Navarro-Mari JM, Nicoletti L, Papa A, Sánchez-Seco MP, Tenorio A, de Lamballerie X.** Emergence of Toscana virus in Europe. *Emerg Infect Dis*. 2005 Nov; 11(11):1657-63. Review.
- Charrel RN, Izri A, Temmam S, Delaunay P, et al.** Cocirculation of 2 genotypes of Toscana virus, southeastern France. *Emerg Infect Dis*. 2007; 13:465–468.
- Christodoulou V, Antoniou M, Ntais P, Messaritakis I, Ivovic V, Dedet JP, Pralong F, Dvorak V, Tselentis Y.** Re-emergence of visceral and cutaneous leishmaniasis in the Greek Island of Crete. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2012; 12 (3):214-22.
- Connell J, McKeown P, Garvey P, Cotter S, Conway A, O'Flanagan D, O'Herlihy BP, Morgan D, Nicoll A, Lloyd G.** Two linked cases of West Nile virus (WNV) acquired by Irish tourists in the Algarve, Portugal. *Euro Surveill*. 2004; 8 (32):pii=2517. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=2517>.
- Clement J, Vercauteren J, Verstraeten WW, Ducoffre G, Barrios JM, Vandamme AM, Maes P, Van Ranst M.** Relating increasing hantavirus incidences to the changing climate: the mast connection. *Int J Health Geogr*. 2009; 16 (8): 1.
- Collao X, Palacios G, De Ory F, Sanbonmatsu S, Pérez-Ruiz M, Navarro JM, et al.** Granada virus; a natural Phlebovirus reassortant of the sandfly fever Naples serocomplex with low seroprevalence in humans. *M J Trop Med Hyg*. 2010; 83:760–5.
- Collao X, Palacios G, Sanbonmatsu-Gámez S, et al.** Genetic diversity of Toscana virus. *Emerg Infect Dis*. 2009; 15:574–7.
- Cuadros J, Calvente MJ, Benito A, Arévalo J, Calero MA, Segura J, Rubio JM.** Plasmodium ovale Malaria Acquired in Central Spain. *Emerg Infect Dis*. 2002; 8 (12):1506-1508.
- Danis K, Papa A, Papanikolaou E, Dougas G, Terzaki I, Baka A, Vrioni G, Kapsimali V, Tsakris**

- A, Kansouzidou A, Tsiodras S, Vakalis N, Bonovas S, Kremastinou J.** Ongoing outbreak of West Nile virus infection in humans, Greece, July to August 2011. *Euro Surveill.* 2011;16(34):pii=19951. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19951>.
- De Ory Manchón F, Sanz Moreno JC, Aranguéz Ruiz E, Ramírez Fernández R.** Seroprevalencia edad dependiente frente al virus Toscana en la Comunidad de Madrid: años 1993-1994 y 1999-2000. *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 2007; 25: 187-189.
- De Ory F, Gegúndez MI, Fedele CG, Sánchez-Seco MP.** Virus Toscana, West Nile y de la coriomeningitis linfocitaria como causantes de meningitis aséptica en España. *Med Clin (Barc).* 2009; 132: 587-590.
- De Sousa R, Luz T, Parreira P, Santos-Silva M, Bacellar F.** Boutonneuse fever and climate variability. *Ann N Y Acad Sci.* 2006; 1078:162-9.
- Desjeux, P. & Alvar, J.** Leishmania/HIV of other parasite-induced monokines. *Journal of co-infections: epidemiology in Europe* 2003. *Annals of Immunology*, 155: 1565–1574. *Tropical Medicine and Parasitology*, 97: 3–15.
- Dujardin J.C., Campino L., Canavate C., Dedet J.P., Gradoni L., Soteriadou K., Mazeris A., Ozbek Y., Boelaert M.** Spread of vector-borne diseases and neglect of leishmaniasis, Europe. *Emerg. Infect. Dis.* 2008; 14 (7): 1013-1018.
- Eager JM.** Yellow fever in France, Italy, Great Briatain and Austria and bibliography of yellow fever in Europe. 1902. *Yellow Fever Institute Bulletin.* 8:25-35.
- ECDC.** Development of *Aedes Albopictus* risk maps, Stockholm, May 2009.
- Echevarría JM, De Ory F, Guisasaola, ME, Sánchez Seco M; Tenorio A, Lozano A, et al.** Acute meningitis due to Toscana virus infection among Spanish patients from both the Mediterranean region and the Region of Madrid. *J Clin Virol.* 2003; 26:79-84.
- Eritja R, Escosa R, Lucientes J, Marquès E, Molina R, Roiz D, Ruiz S.** Worldwide invasion of vector mosquitoes: present European distribution and challenges for Spain. *Biol Invasions.* 2005; 7: 87-89.
- Esteves A, Almeida AP, Galão RP, Parreira R, Piedade J, Rodrigues JC, Sousa CA, Novo MT.** West Nile virus in Southern Portugal, 2004. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2005; 5(4):410-3.
- Estrada-Peña A, Venzal JM.** High-resolution predictive mapping for *Boophilus annulatus* and *B. microplus* (Acari: Ixodidae) in Mexico and Southern Texas. *Vet Parasitol.* 2006 Dec 20; 142(3-4):350-8. Epub 2006 Sep 7.
- Estrada-Peña A, Ortega C, Sánchez N, Desimone L, Sudre B, Suk JE, Semenza JC.** *Appl Environ Microbiol.* 2011 Jun; 77(11):3838-45. Doi: 10.1128/AEM.00067-11. Epub 2011 Apr 15.
- Estrada-Peña A; Vatanserver Z; Gargili A; Ergönul O.** The trend towards habitat fragmentation is the key factor driving the spread of Crimean-Congo haemorrhagic fever. *Epidemiology and infection.* 2010; 138(8):1194-203.
- Estrada-Peña A, Venzal JM, Nava S, Mangold A, Guglielmo AA, Labruna MB, de la Fuente J.** Reinstatement of *Rhipicephalus (Boophilus) australis* (Acari: Ixodidae) with redescription of the adult and larval stages. *J Med Entomol.* 2012 Jul; 49(4):794-802.
- Flacio E, Lüthy P, Patocchi N, Guidotti F, Tonolla M, Peduzzi R.** Primo ritrovamento di *Aedes albopictus* in Svizzera. *Bolletín Società Ticinese de Science Naturale.* 2004; 92: 141-142.

- Franco AO, Davies CR, Mylne A, Dedet JP, Gállego M, Ballart C, Gramiccia M, Gradoni L, Molina R, Gálvez R, Morillas-Márquez F, Barón-López S, Alves-Pires C, Afonso MO, Ready PD, Cox J.** Predicting the distribution of canine leishmaniasis in western Europe based on environmental variables. *Parasitol* 2011; 138: 1878-1891, Doi:10.1017/S003118201100148X.
- Franke CR, Ziller M, Staubach C y Latif M.** Impact of the Niño/Southern oscillation on visceral leishmaniasis, Brazil. *Emerg Infect Dis.* 8: 2002; 914-917.
- Gállego M, De Colmenares M, Castillejos S, Valls D, Riera C, Fisa R, Torras S, Portús M.** Estudio del parasitismo y de la edad fisiológica de los flebotomos del Priorato. *Proc VIII Congr Nac Parasitol.* 1993; Lisboa, 48.
- Gálvez R, Miró G, Descalzo MA, Nieto J, Dado D, Martín O, Cubero E, Molina R.** Emerging trends in the seroprevalence of canine leishmaniasis in the Madrid region (Central Spain). *Vet Parasitol* 2010; 169: 327-334.
- Gálvez R, Descalzo MA, Guerrero I et al.** Mapping the current distribution and predicted spread of the leishmaniasis sand fly vector in the Madrid region (Spain) based on environmental variables and expected climate change. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2011 July; 11(7):799-806.
- Gil-Collado J, Morillas-Marquez F, Sanchis-Marin MC.** Los flebotomos en España. *Rev Sanid Hig Publica (Madrid)* 1989; 63:15-34
- Gil-Prieto R, Walter S, Alvar J, Gil de Miguel A.** Epidemiology of leishmaniasis in Spain based on hospitalization records (1997-2008). *Am J Trop Med Hyg.* 2011; 85(5): 820-5.
- Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE, Patz JA.** Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bull World Health Organ.* 2000; 78(9):1136-47.
- Gould EA, Higgs S.** Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2009;103:109-21.
- Gratz N.G.** Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Medical and Veterinary Entomology.* 2004; 18: 215- 227.
- Gray J, Dantas-Torres F, Estrada Peña A, Levin M.** Systematics and ecology of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. *Ticks Tick Borne Diseases.* 2013 Apr; 4(3):171-80. Doi: 10.1016/j.ttbdis.2012.12.003. Epub 2013 Feb 1.
- Green MS, Weinberger M, Ben-Ezer J, Bin H, Mendelson E, Gandacu D, Kaufman Z, Dichtiar R, Sobel A, Cohen D, Chowers MY.** Long-term Death Rates, West Nile virus epidemic, Israel, 2000. *Emerg Infect Dis.* 2005; 11:1754-7.
- Hunter PR.** Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology.* 2003; 94(Suppl): 375-465.
- Institut de Veille Sanitaire.** Cas autochtones d'infection à chikungunya dans le Var. 27 September 2010. [In French]. [Accessed 29 September 2010]. Available at: http://www.invs.sante.fr/display/?doc=presse/2010/le_point_sur/point_chik_270910/index.htm.
- Jimenez-Clavero MA, Gomez-Tejedor C, Rojo G, Soriguer R, Figuerola J.** Serosurvey of West Nile virus in equids and bovines in Spain. 2007 ;*Vet. Rec.* 161, 212.
- Jimenez-Clavero MA, Llorente F, Sotelo E, Soriguer R, Gomez-Tejedor C, Figuerola J.** West Nile virus serosurveillance in horses in Doñana, Spain, 2005 to 2008. *Vet Rec.* 2010; 167:379-80.
- Kaptoul D, Viladrich PF, Domingo C, Niubo J, Martinez-Yelamos S, De Ory F, Tenorio A.** West Nile virus in Spain: report of the first diagnosed

- case (in Spain) in a human with aseptic meningitis. *Scand J Infect Dis.* 2007; 39:70–1.
- Killick-Kendrick, R.** Phlebotomine vectors of the Leishmaniasis: a review. *Med. Vet. Entomol.* 1990; 4: 1-24.
- Klempa B.** Hantaviruses and climate change. *Clin Microbiol Infect.* 2009; 15(6):518-23.
- Kopel E, Amitai Z, Bin H, Shulman LM, Mendelson E, Sheffer R.** Surveillance of West Nile Virus Disease, Tel Aviv District, Israel, 2005 to 2010. *Euro Surveill.* 2011; 16(25):pii=19894. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19894>.
- Kovats RS.** El Niño and human health. *Bulletin of the World Health Organization.* 2000; 78:1127-35.
- Kovats RS, Bouma MJ, Hajat S, Worrall E y Haines A.** El Niño and health. 2003a; *Lancet* 362:1481-9.
- Kunchev A, Kojouharova M.** Probable cases of Crimean-Congo-haemorrhagic fever in Bulgaria: a preliminary report. *Euro Surveill.* 2008; 13(17): 18845. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=18845>.
- La Ruche G, Souarès Y, Armengaud A, Peloux-Petiot F, Delaunay P, Desprès P, Lenglet A, Jourdain F, Leparç-Goffart I, Charlet F, Ollier L, Mantey K, Mollet T, Fournier JP, Torrents R, Leitmeyer K, Hilaiet P, Zeller H, Van Bortel W, Dejour-Salamanca D, Grandadam M, Gastellu-Etchegorry M.** First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, September 2010. *Euro Surveill.* 2010; 15(39): 19676. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19676Leyes>.
- Leyes M, Ruiz de Gopegui E, Ribas MÀ, Peñaranda M.** Presence of the Toscana virus in Majorca. Prevalence and epidemiological characteristics in a hospital population. *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 2011 Apr;29(4):315-6. Doi: 10.1016/j.eimc.2010.10.004. Epub 2011 Feb 23.
- Lindgren E, Andersson Y, Suk J, Sudre B, Semenza J.** Monitoring EU Emerging Infectious Disease Risk Due to Climate Change. *Science* 27 April 2012; 336 (6080): 418-419.
- Lopez-Velez, R.** The impact of highly active antiretroviral therapy (HAART) on visceral leishmaniasis in Spanish patients who are co-infected with HIV. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 2003; 97(1):143-147.
- López-Vélez R, Molina Moreno R.** Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. *Rev Esp Salud Pública.* 2005; 79:177-90.
- Lozano A, Filipe AR.** Anticuerpos frente a virus West Nile y otros virus transmitidos por artrópodos en la población del Delta del Ebro. *Rev Esp Salud Pública.* 1998; (72):245–50.
- Lucientes J, Astillo JA, Gracia MJ, Peribañez MA.** Flebotomos, de la biología al control. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET* ®. ISSN 1695-7504. Agosto 2005; VI (8) Disponible en: www.veterinaria.org/revistas/redvet.
- Lucientes Curdi, J., Sánchez Acedo, C., Castillo Hernández, J.A., Estrada Peña, A.** Sobre la infección natural por *Leishmania* en *Phlebotomus perniciosus* Newstead, 1911 y *Phlebotomus ariasi* Tonnoir, 1921, en el foco de leishmaniosis de Zaragoza. *Rev. Iber. Parasitol.* 1988; 48: 7–8.
- Macdonald G.** The epidemiology and control of malaria. Oxford University Press. London. 1957.

- MAGRAMA. Real Decreto 1628/2011**, de 14 de noviembre, por el que se regula el listado y catálogo español de especies exóticas invasoras. Enlace al RD: <http://www.boe.es/>.
- Mansueto S, Tringali G, Walker DH.** Widespread, simultaneous increase in the incidence of spotted fever group rickettsiosis. *J Infect Dis.* 1986; 154:539-40.
- Maroli M, Rossi L, Balneli R, Capelli G, Ferroglio E, Genchi C, et al.** The northward spread of leishmaniasis in Italy: evidence from retrospective and ongoing studies on the canine reservoir and phlebotomine vectors. *Trop Med Int Health.* 2008; 13:256-64.
- Martín V, Chevalier V, Ceccato P, Anyamba A, De Simone L, Lubroth J, de La Rocque S, Domenech J.** The impact of climate change on the epidemiology and control of Rift Valley fever. *Rev Sci Tech.* 2008; 27:413-26.
- Martín-Sánchez J, Morales-Yuste M, Acedo-Sánchez C, Barón S, Díaz V, Morillas-Márquez F.** Canine leishmaniasis in Southeastern Spain. *Emerg Infect Dis.* 2009; 15:795-798.
- Martín-Sánchez J, Guilvard E, Acedo-Sánchez C, Wolf-Echeverri M, Sanchís Marín MC, Morillas-Márquez F.** *Phlebotomus perniciosus* Newstead, 1911, infection by various zymodemes of the *Leishmania infantum* complex in the Granada province (southern Spain). *Int. J. Parasitol.* 1994; 24: 405-408.
- McCarthy M.** Uncertain impact of global warming on disease. *Lancet* 2001; 357:1183.
- Ministerio de Sanidad y Consumo.** Estudio de Inmigración y Salud Pública. Enfermedades infecciosas importadas. 2007. Disponible en: <http://www.msc.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/promocion/migracion/docs/estudio Inmigracion.pdf>.
- Molina R, Amela C, Nieto J, San Andres M, González F, Castillo JA, Lucientes J, Alvar J.** Infectivity of dogs naturally infected with *Leishmania infantum* to colonized *Phlebotomus perniciosus*. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1994; 88:491-3.
- Molina R, Aransay A, Nieto J, Cañavate C, Chicharro C, Sans A, Flores M, Cruz I, García E, Alvar J.** The phlebotomine sand flies of Ibiza and Formentera islands (Spain). Fifth International Symposium on Phlebotomine Sandflies (ISOPS 5), Tunisia, April 2005. *Arch. Inst. Pasteur Tunis* 82, 12.
- Molina R, Jiménez M, Cruz I, Iriso A, Martín-Martín I, Sevillano O, Melero S, Bernal J.** The hare (*Lepus granatensis*) as potential sylvatic reservoir of *Leishmania infantum* in Spain. *Vet Parasitol.* 2012; Doi: dx. Doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.05.006.
- Monge-Maillo B, López-Vélez R.** Migration and malaria in Europe. *Mediterr J Hematol Infect Dis.* 2012; 4 (1): 1-10. Doi: 10.4084/mjhid.2012.014.
- Morillas Márquez F, Sanchís Marín MC, Martín Sánchez J, Acedo Sánchez C.** On *Phlebotomus perniciosus* Newstead, 1911 (Diptera: Phlebotomidae) in the province of Almería in southeastern Spain. *Parassitologia*, 1991; 33 (1): 437-444.
- Moutallier S, Barre H, Vazeilla M, Failloux AB.** Recently introduced *Aedes albopictus* in Corsica is competent to Chikungunya virus and in a lesser extent to dengue virus. *Trop Med Int Health.* 2009; 14:1105-9.
- Murray KO, Mertens E, Despres P.** West Nile virus and its emergence in the United States of America. *Vet Res.* 2010; 41(6):67.
- OIE.** West Nile Fever, Spain [consultado 8/11/2010]. Immediate notification, 10/09/2010: World Organisation for Animal Health; 2010. Disponible en: <http://web.oie.int/wahis/public.php?page=home>.
- Papa A, Maltezos HC, Tsiodras S, Dalla VG, Papadimitriou T, Pierroutsakos I,**

- Kartalis GN, Antoniadis A.** A case of Crimean-Congo haemorrhagic fever in Greece, June 2008. *Euro Surveill.* 2008; 13(33):pii=18952. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=18952>.
- Pépin M.** avec la participation de la CIRE Réunion-Mayotte et l'Institut de Veille Sanitaire (InVS). [Rift Valley fever]. *Med Mal Infect.* 2011; 41(6):322-9.
- Pintado V, Martin-Rabadan P, Rivera ML, Moreno S, Bouza E.** Visceral leishmaniasis in HIV-infected and non-HIV-infected patients. A comparative study. *Medicine (Baltimore)* 2001; 80:54-73.
- Pittalis S, Mesdu S, Castilletti MC, Di Caro A, Puro V.** Crimean-Congo haemorrhagic fever: an enemy at the gates. *Le Infezioni in Medicina.* 2009; 3:133-40.
- Platonov AE, Shipulin GA, Shipulina OY, Tyutyunnik EN, Frolochkina TI, Lanciotti RS, Zazyshina, S., Platonova OV, Obukhov IL, Zhukov AN, Vengerov YY and Pokrovskii VI.** Outbreak of West Nile virus infection, Volgograd Region, Russia, 1999. *Emerg Infect Dis.* 2001; 7:128-32.
- ProMED-mail.** VNO, nuevo caso humano - España (Andalucía) [consultado 11/11/2010]. *ProMED-mail* 2010; 6 de octubre; N.º de acceso: 20101006.3626. Disponible en: <http://www.promedmail.org>.
- Portús M, Gállego M, Riera C, Aisa M J, Fisa R, Castillejo S.** Wild and domestic mammals in the life cycle of *Leishmania infantum* in southwest Europe. A literature review and studies performed in Catalonia (Spain). *Rev Iber Parasitol.* 2002; 62:72-76.
- Quinnell RJ, Courtenay O.** Transmission, reservoir hosts and control of zoonotic visceral leishmaniasis. *Parasitology.* 2009; 136:1915-1934.
- Raoult D, Tissot Dupont H, Caraco P, Bronqui P, Drancoort M, Charrel C.** Mediterranean spotted fever in Marseille: descriptive epidemiology and the influence climatic factors. *Eur J Epidemiol.* 1992; 8:192-7.
- Ready PD.** Leishmaniasis emergence in Europe. *Euro Surveill.* 2010 Mar 11; 15(10):19505.
- Reiter P.** West Nile virus in Europe: understanding the present to gauge the future. *Euro Surveill.* 2010; 15(10):pii=19508. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19508>.
- Reyes Magaña A, Morillas-Márquez F, Valero-López A, González Castro J, Benavides Delgado I, Sanchís Marín MC.** Encuesta sobre la leishmaniasis canina en las comarcas naturales de la provincia de Granada (Sur de España). *Rev Iber Parasitol.* 1988; 48:233-40.
- Rezza G.** Chikungunya and West Nile virus outbreaks: what is happening in north-eastern Italy? *Eur J Public Health.* 2009; 19(3):236-7.
- Rigau Perez JG.** The early use of break-bone fever (quebranta Huesos, 1771) and dengue (1801) in Spanish. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 1998; 59: 272-274.
- Rioux JA, Guilvard E, Gállego J, Moreno G, Pratlong F, Portús M, Rispail P, Gállego M, Bastien P.** *Phlebotomus ariasi* Tonnoir, 1921 et *Phlebotomus perniciosus* Newstead, 1911 vecteurs du complexe *Leishmania infantum* dans un même foyer: Infestations par deux zymodèmes syntopiques. A propòs d'une enquête en Catalogne (Espagne). In: IMEEE (Ed.), *Leishmania. Taxonomie et Phylogénèse. Applications ÉcoÉpidémiologiques.* Montpellier. 1986; pp. 439-444.
- Rogers DJ y Packer MJ.** Vector-borne diseases, models and global climate change. *Lancet* 1993; 342: 1282-1284.

- Rovero C, Brouqui P, Raoult D.** Questions on Mediterranean Spotted Fever a Century after its Discovery. *Emerg Infect Dis.* 2008; 14:1360-7.
- Samanidou-Voyadjoglou A, Patsoula E, Spanakos G. & Vakalis NC.** Confirmation of *Aedes albopictus* (Skuse) (Diptera: Culicidae) in Greece. *European Mosquito Bulletin.* 2005; 19: 10-12.
- Sanbonmatsu Gámez S, Pérez-Ruiz M, Collao X, Sánchez-Seco MP, Morillas-Márquez F, de la Rosa-Fraile M, et al.** Toscana virus in Spain. *Emerg Infect Dis.* 2005; 11: 1701-1707.
- Sánchez C, Martín Sánchez J, Vélez Bernal ID, Sanchís Marín MC, Louassini M, Maldonado JA, et al.** Leishmaniasis eco-epidemiology in the Alpujarra region (Granada province, southern Spain). *Int J Parasitol.* 1996; 26:303-10.
- Sánchez-Seco MP, Echevarría JM, Hernández L, Estévez D, Navarro-Marí JM, Tenorio A.** Detection and identification of Toscana and other phleboviruses by RT-nested-PCR assays with degenerated primers. *J Med Virol.* 2003 Sep; 71(1):140-9.
- Sánchez-Seco MP, Navarro JM.** Infections due to Toscana virus, West Nile virus, and other arboviruses of interest in Europe. *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 2005 Nov; 23(9):560-8.
- Santa-Olalla P, Vázquez-Torres MC, Latorre-Fandos E, Mairal-Claver P, Cortina-Solano P, Puy-Azón A, Adiego B, Leitmeyer K, Lucientes-Curdi J, Sierra-Moros MJ.** First autochthonous malaria case due to *Plasmodium vivax* since eradication, Spain, October 2010. *Euro Surveill.* 2010;14;15(41):19684.
- Schaffner F, and Karch S.** Première observation d'*Aedes albopictus* (Skuse, 1894) en France méridionale. *C. R. Acad. Sci. III, Sci. Vie.* 2000; 323: 373-375.
- Schaffner F, Van Bortel W. and Coosemans M.** First record of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* in Belgium. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 2004; 20(2): 201-203.
- Schmidt-Chanasit J, Haditsch M, Schöneberg I, Günther S, Stark K, Frank C.** Dengue virus infection in a traveller returning from Croatia to Germany. *Euro Surveill.* 2010; 15(40):pii=19677. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19677>.
- Scholte EJ, E. Dijkstra F, Jacobs W, Takken J. Fransen.** *Aedes albopictus* in the Netherlands. Congress of The Society of Vector Ecology. April 2006. Serres (Greece).
- Sobrinho R, Ferroglio E, Oleaga A, Romano A, Millan J, Revilla M, et al.** Characterization of widespread canine leishmaniasis among wild carnivores from Spain. *Vet Parasitol.* 2008; 155:198-203.
- Solano-Gallego L, Rodríguez-Cortés A, Iniesta L, Quintana J, Pastor J, Espada Y.** Cross-sectional serosurvey of feline leishmaniasis in ecoregions around the Northwestern Mediterranean. *Am J Trop Med Hyg.* 2007; 76(4):676-80.
- Sotelo E, Fernández-Pinero J, Jiménez-Clavero MA.** La fiebre/encefalitis por virus West Nile: reemergencia en Europa y situación en España. Elsevier España, 2011. Publicado en *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 2012; 30(2): 75-83.
- Suárez Rodríguez, B.; Isidoro Fernández, B.; Santos Sanz, S.; Sierra Moros, M.J.; Molina Moreno, R.; Astray Mochales, J.; Amela Heras, C.; I.** Situación epidemiológica y de los factores de riesgo de transmisión de *Leishmania infantum* en España. *Rev. Esp. Salud Pública* [online]. 2012; 86 (6): 555-564.

Sutherst RW. Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clinical*. 2004.

Tirado Blázquez MC. Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010. *Gac Sanit*. 2010; 24 (1): 78-84.

Tsetsarkin KA, Vanlandingham DL, McGee CE, Higgs S. A single mutation in chikungunya virus affects vector specificity and epidemic potential. *PLoS Pathog*. 2007; 3(12): e201.

Vázquez A, Ruiz S, Herrero L, Moreno J, Molero F, Magallanes A, et al. West Nile and Usutu viruses in mosquitoes in Spain, 2008-2009. *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 2011 Jul; 85(1): 178-81.

Wilcox B, Colwell R. Emerging and reemerging Infectious Diseases: Biocomplexity as an Interdisciplinary Paradigm. *EcoHealth*. 2005; 2: 244-257.

Wittmann E.J.; Baylis M. Climate change: Effects on Culicoides-transmitted viruses and implications for the UK. *The Veterinary Journal*. 2000; 160: 107-117.

World Health Organization: Rift Valley Fever. [En línea]. (Consultado 24 Julio 2010). Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs207/en/>.

