

Efectos del cambio climático Enfermedades oculares y costes asociados

JOSÉ M^a SENCIALES-GONZÁLEZ¹

LUCÍA ECHEVARRÍA-LUCAS²

JESÚS RODRIGO-COMINO³

¹DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA, ÁREA DE GEOGRAFÍA FÍSICA, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA*

²SERVICIO DE OFTALMOLOGÍA DEL HOSPITAL DE LA AXARQUÍA, VÉLEZ-MÁLAGA (MÁLAGA)

³DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO REGIONAL Y GEOGRAFÍA FÍSICA, UNIVERSIDAD DE GRANADA.

*CORRESPONDENCIA: SENCIALES@UMA.ES

Introducción

Según el IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático; Smith & Woodward, 2014), el cambio climático (CC) afecta a la salud humana mediante:

- Impactos directos por incremento de eventos extremos: olas de calor, sequías...
- Cambios en los sistemas naturales: vectores de enfermedades, enfermedades transmitidas por el agua, contaminación...
- Efectos de una mala gestión: estrés mental, desnutrición, impactos laborales...

Esbozando los resultados de investigaciones anteriores (Echevarría et al., 2021), analizamos la asociación entre enfermedades oculares comunes y factores ambientales, tomando como referencia Málaga y Almería, ciudades meridionales muy vulnerables al CC. Se contrasta el gasto sanitario que implican estas enfermedades y el ahorro que supondría mitigar los factores ambientales agravantes. El objetivo es mostrar a los responsables políticos los daños económicos derivables de una política no intervencionista respecto al CC.

El calentamiento global muestra una tendencia progresiva en el Mediterráneo (Bárceña et al., 2019). La mayor frecuencia de olas de calor y subsiguientes incendios forestales incrementa la mortalidad asociada a eventos extremos y las enfermedades cardiovasculares, renales y respiratorias (Rice et al., 2014).

El calor condiciona la respuesta inflamatoria de las células corneales, facilitando procesos infecciosos virales, bacterianos, fúngicos y alérgicos (Ludema et al., 2013; Kawai et al., 2020). La dosis efectiva de radiación ultravioleta (RUV) aumenta un 2 % por cada °C; consecuentemente, la supresión inmunitaria celular por RUV activaría virus latentes, mayor sensibilidad a infecciones, e incrementaría tumores oculares, cataratas y desprendimientos retinianos (Echevarría et al., 2021).

El incremento de las temperaturas medias del aire desencadena más inundaciones por lluvias intensas, favoreciendo patologías infecciosas. Enfermedades erradicadas en España y otras de nueva incidencia aparecen o podrían aparecer al incrementarse de modo combinado temperaturas, lluvias torrenciales y humedad ambiental: malaria, tracoma, dengue, enfermedades transmitidas por garrapatas, chikungunya, fiebre del Nilo Occidental..., generan todos daños oculares (Echevarría et al., 2021).

También la calidad del aire condiciona la salud humana. Así, el ozono troposférico urbano se exagera por olas de calor. La contaminación aguda usual con alta estabilidad atmosférica, olas de calor y sequías aumenta las partículas aerodinámicas (PM₁₀, PM_{2,5}), que implican mortalidad prematura (Johnston

et al., 2012). Dermatitis, asma, rinitis y conjuntivitis alérgica aumentan por condiciones atmosféricas cálidas favorecedoras de alérgenos. Estos factores producen daños corneales y conjuntivales, cataratas, conjuntivitis, glaucoma y ojo seco, entre otros (Echevarría et al., 2021).

La malnutrición o subalimentación procede de cosechas alteradas por cambios térmicos o pluviométricos, especialmente en zonas de productividad naturalmente baja (Knox et al., 2012) que sufren más las fluctuaciones de precios. Se consumen así alimentos sin principios activos cruciales, generando desnutrición y enfermedades oculares: xeroftalmia (por deficiencia de vitamina A), DMAE (degeneración macular asociada a la edad), cataratas o glaucoma. Además, los trabajadores al aire libre reducen su productividad por las olas de calor, sufriendo también enfermedades transmitidas por vectores, daños psicofísicos y ocho veces más patologías oculares como pterigion, glaucoma, cataratas y lesiones retinocoroideas (Echevarría et al., 2021).

Método de estudio

Se contrastaron factores ambientales, enfermedades oculares y costes sanitarios.

Se compararon variables climáticas de Málaga y Almería, evaluando tendencias de temperatura (medias, mínimas y máximas), precipitación y humedad de los últimos 30 años. Ambas estaciones representan condiciones semiáridas (Málaga) y áridas (Almería) del sur peninsular. Se analizaron datos procedentes de la REDIAM (Red de Información Ambiental de la Junta de Andalucía) y se compararon y contrastaron con informes del IPCC para comprobar su coherencia con las perspectivas regionales.

Se revisaron las enfermedades oculares más frecuentes en Andalucía, buscando su relación con variables ambientales asociadas al CC. Se analizaron los costes económicos de las más frecuentes, calculando su atribución al CC y el coste medio de los tratamientos en España o, en su defecto, de Europa o EE.UU.

Se analizó el grado en que los factores ambientales predisponen o agravan las patologías oculares, deduciéndose el aumento de costes sanitarios que implica no controlarlos, así como la suma final que representa el CC al incidir en las patologías oculares.

Algunas variables (exposición solar, temperaturas, efectos de la torrencialidad, del viento o la contaminación) son abordables mediante gestión del territorio. Por ello, se analizaron medidas de mitigación y el peso económico que supondría ejecutarlas, comparando los beneficios de la adaptación con los de la mitigación;

la primera implicaría buscar recursos adicionales para afrontar las enfermedades, reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia; la segunda reduciría la peligrosidad y el riesgo asociado a las variables ambientales (Echevarría et al., 2021).

Resultados

Antecedentes de las condiciones climáticas en Almería y Málaga

Las tendencias observadas en ambas ciudades se sintetizan así:

- Aumento sostenido de temperaturas del aire: 0.1-0.4 °C/década (Figura 1a).
- Olas de calor más frecuentes (máximas >36.6 °C) (Figura 1b).
- Aumento de días tropicales (mínimas diarias >20 °C) de 3 a 6/década (Figura 1c), y de días tórridos (mínimas diarias >25 °C) (Figura 1b).
- Sequías más frecuentes por menor humedad relativa (Figura 1d) y menor volumen anual de precipitaciones.
- Mayor vulnerabilidad a incendios forestales.
- Inundaciones y procesos erosivos por lluvias torrenciales más frecuentes, aunque los recursos hídricos disminuyen (Sencales y Ruiz-Sinoga, 2013; Rodrigo et al., 2019).
- Aumento de fenómenos costeros y pérdidas en el litoral.
- Retroceso de hábitats y especies en peligro de extinción.
- Aumento próximo de enfermedades transmitidas por el agua.
- RUV sin tendencia significativa, pese a una ligera tendencia a disminuir.

Patologías oculares y variables climáticas

Para abordar este problema, se cruzan variables ambientales y estructuras oculares potencialmente afectadas (Tabla 1). Se consideran valores ambientales y patologías oculares más frecuentes en el sur peninsular.

Las patologías abordadas fueron (Bowling, 2016):

- Córnea, esclera y conjuntiva, estructuras donde los efectos ambientales producirían: 1) Aumento de inflamación (queratoconjuntivitis alérgica, queratitis marginal y seca, epiescleritis crónica, metaplasia corneal y pterigión); 2) Aumento de infecciones y sobreinfecciones (herpes simple y zóster corneal y conjuntival, queratoconjuntivitis vírica, lesiones fúngicas accidentales de la córnea, lesiones infecciosas corneales, lesiones no fúngicas por lente de contacto); 3) Procesos tumorales en córnea, conjuntiva y anejos oculares (neoplasia epidermoide de superficie ocular, carcinoma basocelular de párpado).
- Glaucoma (agudo y crónico de ángulo abierto). Relacionado con temperaturas, RUV y contaminantes.
- Cataratas (corticales tempranas y subcapsulares) y síndrome de Pseudoexfoliación. Relacionados con la radiación solar.
- Procesos tumorales en coroides, iris y cuerpo ciliar. La principal enfermedad es el melanoma uveal, relacionado con la radiación UVB.
- Uveítis (procesos inflamatorios intraoculares). Se relacionan con numerosos factores ambientales; son divisibles en cuatro grupos: 1) Uveítis infecciosas (toxoplasmosis, tuberculosis, campylobacter, chlamydia, herpes simple ocular -VHS- y zóster -VHZ-, fiebre del Nilo Occidental, borreliosis y rickettsiosis, shi-

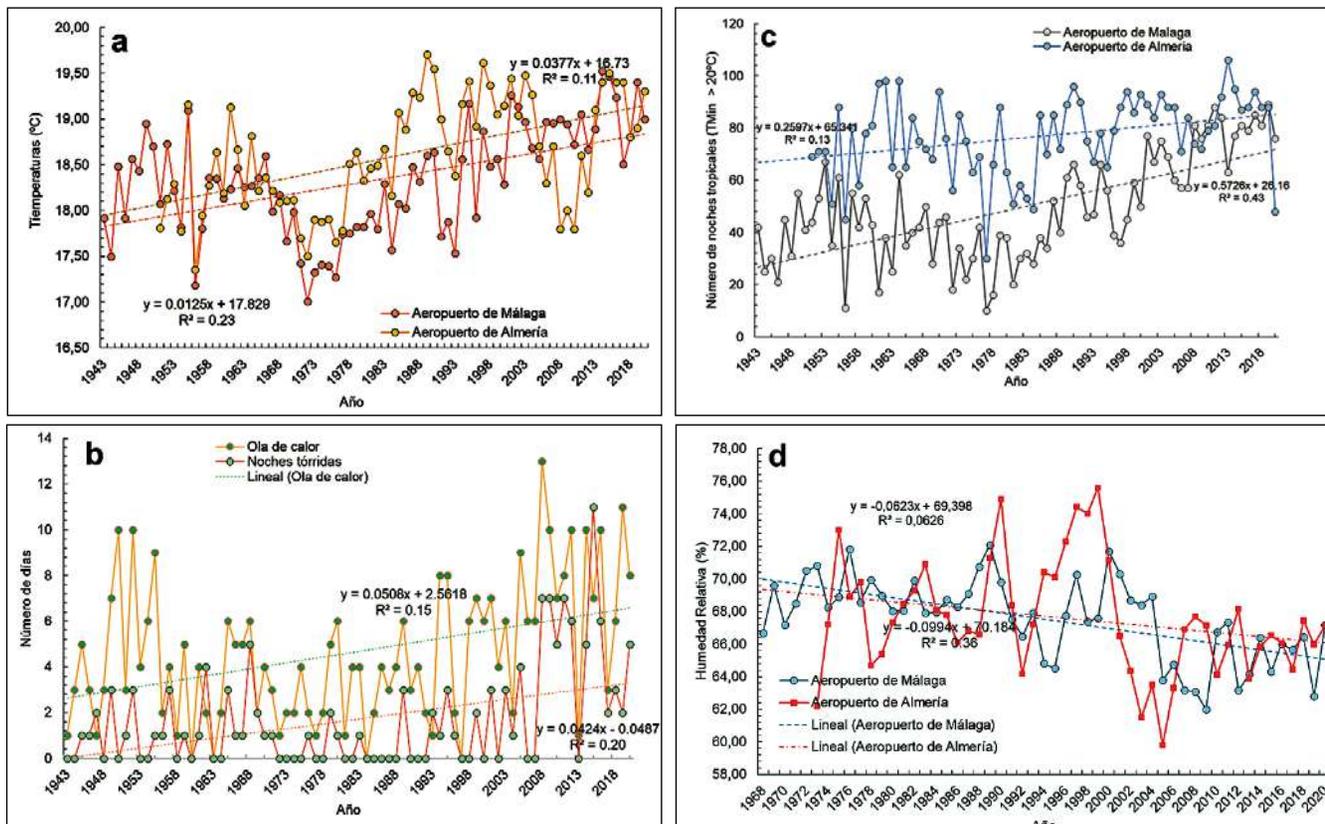


Figura 1. Evolución y tendencias en los aeropuertos de Málaga y Almería. Temperaturas medias anuales (a), olas de calor y días tórridos (b), días tropicales (en Málaga) (c), humedad relativa media (d). Tomado de Echevarría et al., 2021.

Efectos del cambio climático Enfermedades oculares y costes asociados

gelosis, salmonelosis), con un importante cambio de patrones a nivel mundial recientemente. 2) Uveítis no infecciosa asociada a enfermedades sistémicas (artritis reumatoide -AR-, espondilitis anquilosante -EA-, sarcoidosis, esclerosis múltiple -EM-, enfermedades inflamatorias intestinales -EII- Crohn y colitis ulcerosa, enfermedad de Behçet, arteritis de células gigantes -enfermedad de Horton-, vasculitis sistémica necrotizante). 3) Enfermedades del tejido conectivo (lupus eritematoso sistémico -LES-, dermatomiositis). 4) Uveítis como mera enfermedad ocular, sin patologías sistémicas asociadas (uveítis heterocrómica de Fuchs, síndrome de Posner-Schlossmann, uveítis intermedia y pars planitis, coroidopatía de Birdshot, síndrome de Vogt-Koyanagi-Harada -VKH-, síndromes de puntos blancos).

- Retina. Sus lesiones se relacionan con la RUV. Se clasifican en cuatro grupos: Desprendimiento retiniano traccional (DRT) y desgarros retinianos, desprendimiento de vítreo posterior, degeneración macular asociada a la edad (DMAE) y coroidopatía serosa central.

Tratar el DRT cuesta entre 1647-6690 euros/paciente (según profilaxis con láser o vitrectomía). Registra unos 4700 casos/año en España. Cada ola de calor aumenta su riesgo en 2.47 veces para menores de 75 años. AEMET pronostica para mediados del siglo XXI un aumento del 20 % en el número de días cálidos; la frecuencia de noches extremadamente cálidas se multiplicó por diez desde 1984 en las ciudades españolas más pobladas; y el umbral para ola de calor en Málaga, calculado en 36.6 °C (AEMET, 2020) se superó 11 días en 2019 y 7 en 2020, aumentando el riesgo de DRT en menores de 75 años un 17.3 % solo durante 2020. Los días de ola de calor se duplicaron entre 1992-2020 (de 4 a 8 días) (Figura 1B).

En la DMAE, las personas expuestas al sol estival >5 h/día antes de los 30 años tienen mayor riesgo de DMAE temprana 10 años antes que las expuestas <2 h/día durante los mismos períodos. Usar sombrero y gafas de sol durante esos periodos es un factor protector (Tomany et al., 2004). Abordar la DMAE cuesta unos 8300 €/paciente/año.

La progresiva recuperación de la ozonfera mantuvo o incluso redujo ligeramente la RUV media. Pero la tendencia a dis-

minuir la humedad relativa debida al aumento de las temperaturas, junto con la contaminación atmosférica, aumenta la RUV por el menor forzamiento radiativo de esta longitud de onda a causa del menor filtrado de los aerosoles hídricos (AEMET, 2020-2).

En 2016, 700 000 personas sufrían DMAE, casi el doble que diez años antes. A los eventos climáticos adversos puede unirse un bajo consumo de frutas y verduras por sus altos precios (también originados parcialmente por problemas climáticos: pérdidas de cosechas por sequías, torrencialidad, etc.); frutas y verduras previenen DMAE y glaucoma.

Respecto al glaucoma, los costes superan los 2558 euros/paciente/año en España (Glaucoma Research Foundation, 2020), donde los casos se multiplicaron por 3.77 entre 2011-2016. Esta enfermedad se asoció con niveles promedio de RUV y PM_{2.5}, además del bajo nivel socioeconómico, edad avanzada, sexo femenino, malnutrición y desnutrición.

La asociación RUV-cataratas está muy estudiada; las gafas de sol protegen del desarrollo de cataratas subcapsulares posteriores. El coste medio de operar cataratas en España oscila entre 910 y 1541 euros. El número de personas intervenidas aumenta cada año (un 50 % entre 2004 y 2013), más rápido que el porcentaje de población anciana. Urge abordar con precisión los factores predisponentes.

Enfermedades infecciosas como el herpes zóster (VHZ) acrecientan un 14% su riesgo con sobreexposición a RUV, que produce inmunosupresión. Su tratamiento oscila entre 301.5-916.7 euros/brote, según complicación.

Respecto al herpes simple ocular (VHS), un índice UV >4 aumenta el riesgo de brotes un 33 % (Ludema et al., 2007). El sur peninsular presenta este valor de abril a octubre (AEMET, 2020-2). La incidencia de VHS en España entre 2000-2008 creció un 40 %. Se estima un coste global de 2033-2366 euros/brote/paciente.

Los contaminantes ambientales están entre los principales desencadenantes de enfermedades sistémicas autoinmunes con repercusión ocular (uveítis no infecciosas), destacando:

- El riesgo de artritis reumatoide (AR) aumenta un 31 % en residentes a <50 m de una carretera principal (tráfico y conta-

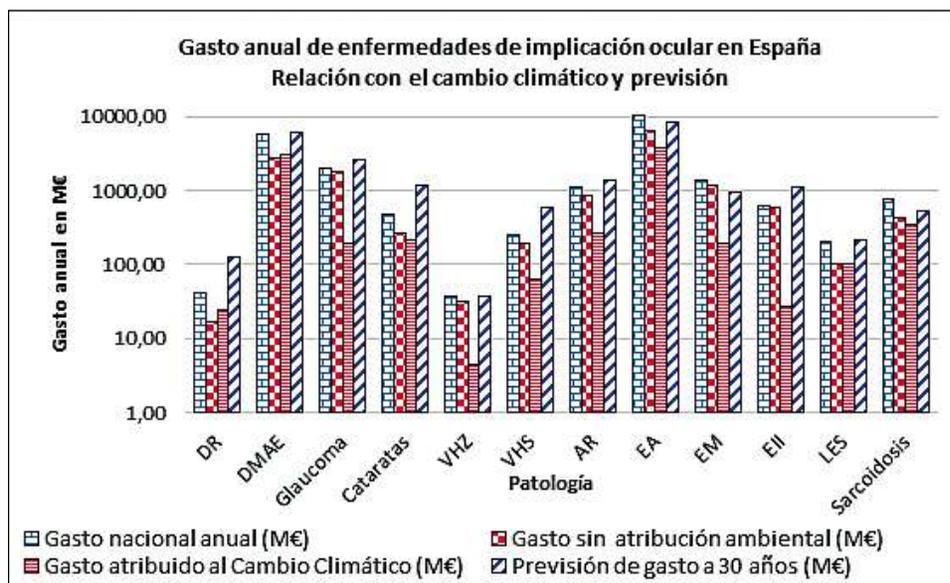


Figura 2. Gasto anual por enfermedades que afectan a estructuras oculares en España; relación con CC y previsión a 30 años. DR= Desprendimiento de retina. DMAE= Degeneración Macular Asociada a la Edad. VHZ= Herpes Zóster. VHS= Herpes Simple. AR= Artritis Reumatoide. EA= Espondilitis anquilosante. EM= Esclerosis Múltiple. EII= Enfermedades Inflamatorias Intestinales. LES= Lupus Eritematoso Sistémico. Tomado de Echevarría et al., 2021.

minación intensa) (Hart et al. 2009). España gasta en AR 1120 millones de euros (M€) al año. Mitigar la contaminación ahorraría 350 M€, además del sufrimiento que implica.

- La espondilitis anquilosante (EA) se correlaciona $>60\%$ con partículas contaminantes ($PM_{2.5}$): una exposición prolongada empeora el control de sus brotes inflamatorios. Su coste medio es de 11 462 euros/paciente/año en España, donde la sufren unas 900 000 personas, implicando 10 300 M€/año. Se ahorrarían 6000 millones controlando los factores ambientales.

- Los brotes inflamatorios de la esclerosis múltiple (EM) se asocian a PM_{10} un 8% durante la estación fría, y al ozono un 16% durante la estación cálida. Unas 50 000 personas la padecen en España; su coste medio es de 30 000 euros/paciente/año (1400 M€/año del PIB español); implica grave discapacidad. Hasta 224 M€/año podrían ahorrarse controlando los contaminantes.

- Las enfermedades inflamatorias intestinales (EII) (Crohn-EC-, colitis ulcerosa-CU- y EII no clasificable) muestran una incidencia creciente de 176 000 casos/año. Cada día de ola de calor aumenta un 4.6% el riesgo de brote de EII (Manser et al., 2013) y la discapacidad visual derivada. Entre 2.5-3 millones de personas en Europa padecen EII. Su coste oscila entre 2753-5942 euros/paciente.

- La prevalencia del lupus eritematoso sistémico (LES) en España es 9/10000 habitantes, y su coste de 6000 euros/paciente/año, implicando una carga de 201 M€/año. Los brotes de LES tienen el doble de probabilidades de ocurrir en trabajadores expuestos al sol, y 7.9 veces más si sufren quemaduras por exposición intensa (Cooper et al., 2010).

- En España, la sarcoidosis tiene alta prevalencia (1/1000 habitantes). Las aseguradoras gastan casi 20 000 dólares/paciente/año en EE.UU. Extrapolado a España, equivaldría a casi 784 M€/año. Su activación depende de exposición al polvo y contaminación natural y urbana (PM_{10} y $PM_{2.5}$), junto con sequedad y altas temperaturas. En el sur peninsular suceden >20 eventos/año de advecciones de polvo sahariano en verano (AEMET, 2018); una mayor frecuencia de estas duplicaría los costes sanitarios por sarcoidosis.

Las enfermedades oculares relacionadas con el CC seleccionadas suponen hasta 23 310 millones de euros/año: 1.95% del PIB español (Tabla 2). El 36.5% de esta cifra es atribuible al CC (0.7% del PIB; hasta 8510 M€). Las medidas mitigadoras mediante forestación y control de gases de efecto invernadero (GEI) suponen invertir 13 150 M€ (1.1% del PIB), pero el beneficio por ahorro energético alcanzaría entre 16 500-25 700 M€ ($1.38 - 2.15\%$ del PIB). Incluso con la previsión menos optimista, se ahorraría un 0.28% del PIB, al reducir progresivamente el 0.7% del PIB atribuido a enfermedades oculares asociadas al CC. Controlar los GEI beneficiaría el manejo de cualquier enfermedad agravada por variables ambientales relacionadas con el CC, no solo las oculares.

Las deficiencias oculares más afectadas por el CC son DRT, DMAE y LES; los factores ambientales duplican el costo de abordarlas (Figura 2). Sin intervención contra el CC, enfermedades como DR, DMAE, glaucoma, cataratas, VHZ, VHS, AR, EII y LES aumentarán su incidencia en 30 años, así como su carga económica asociada.

A debate

La bibliografía relacionando clima-salud ocular muestra que el calentamiento global actúa como una reacción en cadena. Si una gestión adecuada mitiga las alteraciones climáticas debidas al CC, también lo hará con los problemas de salud. La gestión sostenible evitaría aumentar las patologías oculares y sus costos de salud y económicos asociados, objetivo alcanzable mediante un equilibrio ambiental, social, económico y cultural.

Frenar el calentamiento global requiere reducir los GEI, forestar, reforestar y cambiar el manejo de cultivos, favoreciendo los sumideros de carbono. En entornos urbanos, modular la temperatura requiere controlar ozono, PM_{10} y $PM_{2.5}$ y otros contaminantes, cambiar el albedo de las edificaciones y aumentar los espacios verdes. El aumento de la RUV puede detenerse controlando eficazmente el calentamiento global.

Todo ello disminuiría considerablemente la morbilidad humana y la carga sanitaria para abordarla. Se define sumidero de carbono como cualquier proceso o mecanismo que elimine GEI, aerosoles o precursores de GEI. Igualmente, si elimina o reduce efectos ambientales nocivos para la salud, puede definirse como “sumidero de enfermedades”. Este nuevo concepto incluye cualquier acción mitigadora del CC. Como los efectos del CC impactan directamente sobre la incidencia o morbilidad de las enfermedades, las medidas mitigadoras beneficiarán a la salud, al ser sumideros de enfermedades.

Las estrategias de mitigación buscan reducir las emisiones netas de GEI, y aumentar los sistemas naturales reductores. Medidas para lograrlo pueden ser:

- Incrementar la capacidad de los sumideros de carbono forestando y reforestando. Los esfuerzos actuales son insuficientes.

- Evitar la acidificación oceánica, controlando sobrepesca y pesquerías destructivas, protegiendo así los sumideros de carbono oceánicos.

- Reducir el consumo. Para estabilizar las emisiones por este sistema España debería reducir su PIB un 1% hasta 2050 para cumplir el Protocolo de Kioto: 12 450 M€ en 30 años. Sin embargo, generando electricidad con bajas emisiones de carbono, y mediante inversiones, ahorro y cambio de modelo, el PIB podría crecer un 1.8% en 2030 frente a un escenario sin actuaciones: entre 16 500 - 25 700 M€ (MITECO, 2020). Ello compensa la reducción del PIB antes señalada.

- Aumentar el aislamiento y la eficiencia energética de los edificios, pues se prevé un aumento en el consumo energético para enfriar edificios y hogares. Eficiencia energética y energía casi nula en los hogares serán fundamentales, al evitar costes adicionales (Hidalgo et al., 2014).

- Frenar la demanda energética, estimulando una producción austera y promoviendo el transporte público y colectivo, que reduciría alrededor de 25 Mt CO_2 (Rose et al, 2000).

- Gestionar adecuadamente la tierra. Una gestión inadecuada, ocasionalmente por ignorancia, produce cascadas ecológicas que dañan ecosistemas y, trágicamente, a personas. La alteración de ecosistemas puede estar detrás del origen de la Covid19, como lo estuvieron la mixomatosis (OIE, 2020) y el VIH (Hemelaar, 2012).

Todas estas medidas serían sumideros de enfermedades: reducirían los efectos del CC y, con ello, la incidencia y morbilidad de las enfermedades.

Efectos del cambio climático Enfermedades oculares y costes asociados

La literatura científica vincula factores ambientales afines al CC y enfermedades oculares. La población andaluza, 18.1 % de la población española, es altamente vulnerable a sufrir enfermedades oculares debido al CC. Además, el PIB de Andalucía representa el 13.33 % del PIB español, siendo la tercera comunidad autónoma con menor renta per cápita y recursos económicos. El aumento del riesgo por factores ambientales y la menor disponibilidad de recursos empeoran la salud ocular. Deberían investigarse profundamente ambos factores.

Adaptarse al CC implicaría incrementar continuamente el gas en salud ocular. Inversamente, mitigarlo lo reduciría mejorando la salud y calidad de vida general. El éxito de las medidas de mitigación globales y locales permitirá verificar esta afirmación.

Conclusión

Las enfermedades oculares impactarán considerablemente económica y socialmente si no se aborda la mitigación del CC, dadas las relaciones probadas entre variables climáticas alteradas y enfermedades oculares. Consecuentemente, si una gestión adecuada mitiga los efectos del CC, reducirá los problemas de salud. Los “sumideros de enfermedades”, análogamente a los de carbono, englobarían cualquier acción para mitigar factores ambientales agravados por el CC que reduzca la incidencia o morbilidad de las enfermedades, beneficiando la salud. También produce beneficios sociales y económicos: mayor calidad ambiental y ahorro en medidas adaptativas. El sur peninsular es muy vulnerable a los efectos del CC: temperaturas más elevadas, lluvias torrenciales y sequías más frecuentes, incendios, inundaciones, fenómenos costeros, alteración de recursos hídricos, alteración de hábitats y mal control de la contaminación exacerban directa o indirectamente numerosas enfermedades oculares. A nivel nacional, el gasto sanitario estimado para combatir estas enfermedades es de 22 630-23 310 M€/año; el 36.5 % de esta cifra es atribuible al CC. Por la mayor incidencia de efectos del CC estimada para Andalucía, buena parte de esta cifra proviene de esta región.

Deben establecerse contactos fluidos entre climatólogos y ambientalistas y especialistas médicos, para investigar conjuntamente allí donde los efectos del CC tienen mayor impacto: zonas áridas y semiáridas.

Nuestra salud exige mitigar a medio plazo y revertir a largo plazo los efectos del CC; adaptarse no es opción: requiere más fondos, que no todas las regiones o países pueden permitirse.

Referencias

- ★ AEMET, 2018: Informe Anual, 2017. https://www.aemet.es/documentos/es/conocenos/a_que_nos_dedicamos/informes/InformeAnualAEMET_2017_web.pdf (consultado 24/5/2021).
- ★ AEMET, 2020: Olas de Calor en España. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas. http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_calor/Olas_Calor_ActualizacionMarzo2020.pdf (consultado 24/5/2021).
- ★ AEMET, 2020 (2): Radiación y Ozono—Radiación Ultravioleta (UVI) y Ozono. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/radiacion_ozono?w=1 (consultado 08/11/2020).
- ★ Bárcena-Martin, E.; Molina, J.; Ruiz-Sinoga, J.D., 2019: Issues and challenges in defining a heat wave: A Mediterranean case study. *Int. J. Clim.*, 39, 331-342, doi:10.1002/joc.5809.

- ★ Bowling, B., 2016: *Oftalmología Clínica. Un Enfoque Sistemático*; Elsevier <https://www.iberlibro.com/KANSKI-OFTALMOLOG%C3%8DA-CL%C3%8DNICA-B-BOWLING-ELSEVIER/20642079458/bd> (consultado 29/4/2020).
- ★ Cooper, G.S. et al., 2010: Occupational and environmental exposures and risk of systemic lupus erythematosus: Silica, sunlight, solvents. *Rheumatol.*, 49, 2172-2180, doi:10.1093/rheumatology/keq214.
- ★ Echevarría-Lucas, L.; Senciales-González, J.M[®]; Medialdea-Hurtado, M[®] E.; Rodrigo-Comino, J., 2021: Impact of Climate Change on Eye Diseases and Associated Economical Costs. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(13), 7197; <https://doi.org/10.3390/ijerph18137197>
- ★ Glaucoma Research Foundation, 2020: Datos y Estadísticas Sobre el Glaucoma. <https://www.glaucoma.org/es/datos-y-estadisticas-sobre-el-glaucoma.php> (consultado 8/11/2020).
- ★ Hart, J.E.; Laden, F.; Puett, R.C.; Costenbader, K.H.; Karlson, E.W., 2009: Exposure to Traffic Pollution and Increased Risk of Rheumatoid Arthritis. *Environ. Health Perspect.*, 117:1065-1069, doi:10.1289/ehp.0800503.
- ★ Hemelaar, J., 2012: The origin and diversity of the HIV-1 pandemic. *Trends Mol. Med.*, 18, 182-192; doi:10.1016/j.molmed.2011.12.001.
- ★ Hidalgo-Betanzos, J.M.; Iribar-Solaberrieta, E.; de Lorenzo Urién, A., 2014: Guía Básica para el Control Térmico en Edificación. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/area_termica_public/es_def/adjuntos/GB_control_termico.pdf (consultado 24/5/2021).
- ★ Johnston, F.H. et al., 2012: Estimated Global Mortality Attributable to Smoke from Landscape Fires. *Environ. Health Perspect.* 120, 695-701, doi:10.1289/ehp.1104422.
- ★ Kawai, K.; VoPham, T.; Drucker, A.; Curhan, S.G.; Curhan, G.C., 2020: Ultraviolet Radiation Exposure and the Risk of Herpes Zoster in Three Prospective Cohort Studies. *Mayo Clin. Proc.*, 95, 283-292, doi:10.1016/j.mayocp.2019.08.022.
- ★ Knox, J.; Hess, T.; Daccache, A.; Wheeler, T., 2012: Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environ. Res. Lett.*, 7, doi:10.1088/1748-9326/7/3/034032.
- ★ Ludema, C. et al., 2013: Association between unprotected ultraviolet radiation exposure and recurrence of ocular herpes simplex virus. *Am. J. Epidemiol.*, 179, 208-215, doi:10.1093/aje/kwt241.
- ★ Manser, C.N.; Paul, M.; Rogler, G.; Held, L.; Frei, T., 2013: Heat Waves, Incidence of Infectious Gastroenteritis, and Relapse Rates of Inflammatory Bowel Disease: A Retrospective Controlled Observational Study. *Am. J. Gastroenterol.*, 108, 1480-1485, doi:10.1038/ajg.2013.186.
- ★ MITECO, 2020: Mitigación del Cambio Climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/mitigacion.aspx> (consultado 10/XI/2020).
- ★ OIE—World Organisation for Animal Health. Mixomatosis. 2020. <https://www.oie.int/es/sanidad-animal-en-el-mundo/enfermedades-de-los-animales/mixomatosis> (consultado 18/11/2020).
- ★ Rice, M.B.; Thurston, G.D.; Balmes, J.R.; Pinkerton, K.E., 2014: Climate Change. A Global Threat to Cardiopulmonary Health. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 189, 512-519, doi:10.1164/rccm.201310-1924pp.
- ★ Rodrigo-Comino, J. et al., 2019: Analysis of Weather-Type-Induced Soil Erosion in Cultivated and Poorly Managed Abandoned Sloping Vineyards in the Axarquía Region (Málaga, Spain). *Air, Soil and Water Research*, 12, 1178622119839403, doi:10.1177/1178622119839403.
- ★ Rose, J.B. et al., 2000: Climate and waterborne disease outbreaks. *J. Am. Water Work. Assoc.*, 92, 77-87, doi:10.1002/j.1551-8833.2000.tb09006.x.
- ★ Senciales-González, J.M[®]; Ruiz-Sinoga, J., 2013: Análisis espacio-temporal de las lluvias torrenciales en la ciudad de Málaga. *B.A.G.E.*, 61, 7-24.
- ★ Smith, K.R.; Woodward, A., 2014: Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits—IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/human-health-impacts-adaptation-and-co-benefits/> (consultado 8/4/2020).
- ★ Tomany, S.C.; Cruickshanks, K.J.; Klein, R.; Klein, B.E.K.; Knudtson, M.D., 2004: Sunlight and 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy. *Arch. Ophthalmol.* 122, 750-757, doi:10.1001/archoph.122.5.750.

Tabla 1. Relación entre variables ambientales y daño ocular potencial.

Variable Ambiental	Córnea, Esclerótica y Conjuntiva	Glaucoma	Cataratas	Tumores, iris, coroides y cuerpo ciliar	Uveítis infecciosas	Uveítis no infecciosas	Retina	DMAE y coroidopatía serosa central
Lluvias	*				*	*	*	*
Temperaturas	*	*			*	*	*	*
Humedad	*	*			*	*	*	*
Viento	*	*			*			
Insolación / RUV	*	*	*	*	*	*	*	*
Presión del aire		*						
Nivel del mar					*			*
Albedo			*			*	*	*
Ozono	*					*		
GEIs	*	*				*		
PM10 y PM2,5	*	*				*		
Otros contaminantes	*	*				*		
Otros factores indirectos (*)	*	*			*			*

*: estructura ocular afectada por variable ambiental.

(*) Desnutrición, malnutrición, consumo de agua no tratada. Tomado de Echevarría et al. (2021)

Tabla 2. Costos anuales nacionales de enfermedades que involucran estructuras oculares, atribución al CC, evolución esperada y costos de mitigación.

Patología	Costes anuales nacionales (M€)	Atribución al CC	Incremento (%) atribuible a eventos extremos	Incremento estimado	Inversión para mitigación (B€)
DR	16.47-66.9	Olas de calor	147	Duplicación en 30 años	
DMAE	5810	UVR - Sol estival	114	2%* $\Delta^{\circ}\text{C}^{-1}$	
Glaucoma	1990	UVR PM _{2,5}	11 Indeterminado	Triplicación en 5 años -0.59%*año ⁻¹	
Cataratas	473	UVR	10-150	$\Delta 4.8^*$ año ⁻¹	
Herpes Zóster	18-55	UVR	14	2%* $\Delta^{\circ}\text{C}^{-1}$	
Herpes simple	235.83-274.46	UVR	33	2%* $\Delta^{\circ}\text{C}^{-1}$ $\Delta 4.4^*$ año ⁻¹	
Artritis Reumatoide	1120	Polución	31	$\Delta 0,8^*$ año ⁻¹ (1)	
Espondiloartritis anquilosante	10236	PM _{2,5}	60 (brotes)	-0.59*año ⁻¹ (España) -0.17*año ⁻¹ (Andalucía)(2)	
Esclerosis Múltiple	1400	PM ₁₀ (frío) Ozono (calor)	8 (brotes) 16 (brotes)	-1.05*año ⁻¹ (España) -0.57*año ⁻¹ (Andalucía) $\Delta 0.8^*$ año ⁻¹ según OMS(3)	
Ells	391-844	Olas de calor	4,6 (brotes)	Duplicación en 78 años	
LES	153.5-254.2	Exposición solar	100 (brotes) 790 (quemaduras solares)	2%* $\Delta^{\circ}\text{C}^{-1}$	
Sarcoidosis	784	PM ₁₀ PM _{2,5} Sequedad, Δ temperaturas	82 Indeterminado Indeterminado Indeterminado	-1.05*año ⁻¹ (España) -0.59*año ⁻¹ (Andalucía)	
TOTAL	22630-23310		36.46 (8370 M€)		13.15(4)
% respecto al PIB nacional	1.9-1.95		0.75		1.1
Beneficios del cambio de modelo energético					16.5-25.7
% de ahorro del PIB nacional (1194 M€)					1.47-2.29

(1) Por el aumento sostenido del CO₂ en España

(2) La tendencia en Andalucía es estable desde 2008, mientras que en España desciende, mostrando valores inferiores a Andalucía.

(3) Durante la última década, Andalucía incumplió los criterios de la OMS (>100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

(4) Solo calculando gastos de forestación/reforestación y control de GEI.

Tomado de Echevarría et al., 2021