



**FACULTAD DE FARMACIA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Evolución del Cambio Climático y sus impactos  
sobre la Salud**

**Autor:** Roxana-Elena Pirvu

**Fecha:** Febrero 2019

**Tutor:** Rosario Gloria Gavián García

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	2
2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	2
3. OBJETIVOS.....	4
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	5
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	5
a) <b>Temperatura y salud</b> .....	5
a. Olas de calor.....	7
b. Olas de frío.....	8
c. Previsiones.....	9
b) <b>Radiación ultravioleta y salud</b> .....	10
a. Radiación UV y su efecto sobre el sistema ocular.....	12
b. Radiación UV y su efecto sobre la piel y el SI.....	13
c. Radiación UV y el cáncer.....	15
6. CONCLUSIONES.....	18
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

## **RESUMEN**

Los cambios y progresos que se van evidenciando en las características del clima están alterando a los responsables de la Salud Pública en todos los países. El denominado “Cambio Climático” consiste en las variaciones climatológicas a escala planetaria y las consecuencias directas e indirectas sobre nuestra sociedad, tanto a nivel económico como sanitario. Actualmente se considera causa de múltiples patologías cuya proyección para el futuro consiste en un aumento alarmante de la tasa de incidencia y/o mortalidad. Por ello, se han intentado tomar medidas de frenada mediante nuevas entidades encaminadas a prevenir sus consecuencias cada vez más irreversibles. En este trabajo se resumen algunas de las patologías más relacionadas con el Cambio Climático en lo que se refiere a cambios (aumentos) en la temperatura y radiación ultravioleta (UV).

**Palabras clave:** Cambio Climático, clima, Salud, temperatura, radiación, ozono, cáncer.

## **INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

“Cambio Climático” es el término que se utiliza para definir la variación del clima a nivel global debido a causas tanto naturales como humanas. En las últimas décadas ha ido cobrando mucha importancia y grandes entidades como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) han llegado a describirlo como “el mayor desafío de nuestros tiempos”, apuntando también a que nos encontramos en un momento decisivo para frenar sus efectos. Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha ido un paso más allá al afirmar que “el Cambio Climático significa que, hoy día, estamos alterando los sistemas biofísicos y ecológicos de la Tierra a escala planetaria”.

El planeta Tierra está en constante evolución y cambio y, en gran parte, se debe a la variabilidad tanto temporal como geográfica de su clima. A lo largo de la historia se han ido alternando periodos glaciares e interglaciares con deshielos y otras alteraciones de sus balances energéticos. Sin embargo, la alerta generalizada frente a este fenómeno “normal” del planeta se debe a que en las últimas décadas se ha detectado un aumento de 0,6°C de la temperatura terrestre, con dos terceras partes de ese ascenso desde 1975<sup>1</sup>, siendo desde entonces cada década más cálida que la anterior y todas las precedentes desde 1850, lo que se traduce como un aumento de 0,85°C en los últimos 130 años<sup>2</sup>.

Por otro lado, es sabido que las condiciones climatológicas propias de una zona influyen en la población residente en ella hasta tal punto que las variables ambientales están íntimamente relacionadas con los indicadores sanitarios (mortalidad y morbilidad) de sus habitantes. Dentro de estas variables, hay que tener en cuenta la Temperatura, Humedad Relativa, Radiación Solar, Presión Atmosférica, Viento y muchas otras que van a afectar indirectamente, como la contaminación del aire o el porcentaje de ozono. Dentro de estos efectos, algunos pueden ser beneficiosos, como la disminución de la mortalidad por frío en zonas templadas o la erradicación de vectores de enfermedades; sin embargo, la OMS prevé un total de 250.000 defunciones anuales debidas al Cambio Climático entre el 2030 y el 2050 y cerca de 4.000 millones de dólares en costes económicos hasta 2030, lo que evidencia que los efectos negativos son mucho mayores, sobre todo en los países menos desarrollados o regiones insulares, costeras y polares. Dentro de la población más afectada están los niños, quienes acumularán más años de exposición al cambio, los ancianos y las personas con dolencias y patologías previas, tal y como se expondrá más adelante.

Ante estas previsiones, la ONU y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se vieron obligadas a desarrollar el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel of Climate Change), quien desde 1990 se encarga de elaborar informes de evaluación sobre el Cambio Climático como apoyo informativo en la toma de decisiones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)<sup>3</sup>. En el año 2013 se publicó su Quinto Informe de Evaluación, en el que, además de las previsiones de temperatura antes mencionadas, se estudiaban las emisiones de CO<sub>2</sub> y el aumento del nivel del mar junto con todas las variables y causas implicadas. Se llegó a la conclusión de que hacia el año 2100 el nivel del mar podría llegar a aumentar 63cm sobre los valores registrados en el año 2005 y el nivel de emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) sobrepasaría a las del periodo preindustrial, habiendo llegado en el año 2011 a la mitad del límite total con el que se pretendía conseguir un calentamiento global de 2°C máximo. Con todo ello, se concluyó que los efectos del Cambio Climático han sobrepasado el punto de inflexión hacia cambios irreversibles a escala planetaria aunque las emisiones se redujeran totalmente<sup>4</sup>.

Por otra parte, en octubre del año 2018 se realizó un informe especial en el que se estimó que reducir el calentamiento global a 1,5°C en lugar de 2°C conllevaría numerosas ventajas en lo que a Cambio Climático se refiere, por lo tanto, las previsiones serían más

alentadoras. Para ello, habría que tomar decisiones rápidas y a gran escala, como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al 45% en el año 2030 tomando como referencia el año 2010 e intentando llegar al “cero neto” para el año 2050<sup>5</sup>. España forma parte de este proyecto y se ha propuesto prohibir la matriculación de coches de combustible fósil (diésel, gasolina e híbridos) a partir del año 2040<sup>6</sup>.

Estos informes del IPCC no son los únicos que se han llevado a cabo; sino que en las dos últimas décadas se han pactado otros acuerdos históricos como el de la 21ª Conferencia de París (2015) para combatir el Cambio Climático y Protocolos como el de Montreal (1987) o el de Kyoto (en su segundo periodo de compromisos hasta el 2020). Estos son los acuerdos que actualmente sirven de base para las últimas reuniones: el 15 de diciembre del pasado año terminó la Cumbre del Clima de Katowice (Polonia), conocida como la COP24, y cuyo Secretario Ejecutivo Adjunto de las Naciones Unidas para el Cambio Climático catalogó de “colaboración intersectorial”. Fueron dos semanas de negociaciones entre países y distintos sectores tecnológicos que tenía como objetivo asentar las bases fijadas en el Acuerdo de París mediante la elaboración de un libro de reglas que establece un sistema de seguimiento común y transparente de los avances de cada país a lo largo de los años: inventario de emisiones, impactos del Cambio Climático, etc.<sup>7</sup> En ella participaron grandes asociaciones como Iberdrola, Itaipú Binacional (empresa hidroeléctrica) o la Asociación Internacional de Transporte Público (UITP), entre muchas otras, pero la gran novedad fue la campaña conocida como “Asiento del Pueblo”, que permitía la participación ciudadana a través de diferentes plataformas digitales utilizando el *hashtag* #TakeYourSeat y la concienciación mediante la publicación de medidas individuales en el Facebook de las Naciones Unidas<sup>8</sup>.

Por último, el 1 de enero de 2019 entró en vigor la Enmienda Kigali tomando como base el “legado histórico” del Protocolo de Montreal para reducir el consumo de los gases hidrofluorocarbonados (HFC) en más del 80% durante los próximos 30 años y conseguir una reducción de 0,4°C en el calentamiento global. Estos gases promueven el efecto invernadero y agotan la capa de ozono y su reducción podría impulsar el diseño de energías más eficientes en el mundo de la refrigeración.

## **OBJETIVOS**

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es la relación del Cambio Climático con la Salud individual de los habitantes y los efectos provocados por las variaciones de temperaturas y, en consecuencia, de la radiación ultravioleta. La temperatura es la variable

más mencionada en todos los estudios predictivos ya que es una de las que más influirá en el rumbo del clima y, por tanto, una de las más sentidas por la población: olas de calor, de frío, sequías, inundaciones, etc. Por otro lado, está íntimamente relacionada con la exposición de la población a la radiación ultravioleta, ya que el aumento de temperaturas supone un cambio en las pautas de conducta que, junto con la variación del estilo de vida, están teniendo grandes repercusiones a nivel sanitario.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Se trata de una revisión bibliográfica de diversos artículos publicados por la OMS, ONU, IPCC y otras entidades acerca de las previsiones del Cambio Climático y sus repercusiones en Salud. La metodología ha consistido en enlazar estas proyecciones numéricas, también obtenidas del Instituto Nacional de Estadística (INE) o del Ministerio Para la Transición Ecológica (entre otros), con sus efectos palpables sobre los habitantes, tanto a día de hoy como en los próximos 100 años. Para ello, se partió de los términos como “Cambio Climático”, “consecuencias” o “Temperatura” para llegar a Informes publicados por el Ministerio de Salud y Medioambiente, entre ellos el “Cambio Global España 2020/50”, el cual sirvió como base para las líneas de trabajo y temática de ésta revisión. A continuación, el estudio continuó en las principales páginas web relacionadas con el clima en términos generales, el Cambio Climático y la Salud Pública, todas ellas antes mencionadas.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **TEMPERATURA Y SALUD**

La Temperatura es una magnitud física con la que medimos la cantidad de calor, ya sea en un ambiente, un objeto o un cuerpo. Su influencia sobre la mortalidad sigue una relación en forma de “V”, es decir, a medida que la temperatura se aleja de la temperatura de confort ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ ), ya sea aumentando o disminuyendo, aumenta la mortalidad<sup>9</sup>. Un ejemplo de la relación temperatura-mortalidad sería la menor tasa de muertes anuales en zonas frías por bajas temperaturas y la alta mortalidad de las mismas en una zona habitualmente cálida, ya que supone un choque térmico para sus habitantes. Esto ocurre porque, aunque se haya establecido que la temperatura de confort ronda los  $20^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, esta depende de la zona geográfica y sus características (viento, humedad, etc.): en una zona fría, la población está acostumbrada a temperaturas muy inferiores en comparación con la población de una

zona cálida y, por eso, una temperatura inferior a los 18°C en zonas como Finlandia produce un porcentaje del 0,27% de muertes anuales por frío, mientras que esa misma temperatura en ciudades como Atenas produce un aumento del 2,15%<sup>9</sup>.

Por otro lado, los efectos que la temperatura produce sobre el organismo pueden observarse tanto a corto, como a largo plazo. Para empezar, se va a producir una alteración hipotalámica, el centro termorregulador que activa o inhibe procesos de producción y pérdida de calor en función de la temperatura ambiente. A medida que ésta se aleja de la temperatura de confort individual se va a producir un efecto de malestar térmico que desencadena mecanismos compensadores (sudoración, contracciones musculares, etc.), pero si éstos se ven sobrepasados surgen situaciones fisiopatológicas tanto directas como indirectas<sup>9</sup>:



**Figura 1.** Fisiopatología directa del calor una vez sobrepasada la temperatura de confort.



**Figura 2.** Fisiopatología directa del frío cuando la temperatura está por debajo del intervalo de confort térmico.

Todos ellos tienen trascendencia a corto plazo pero van a ser los efectos indirectos los que más influyen en la mortalidad:

- **Efectos indirectos del calor:** cuando la temperatura aumenta, el organismo tiende a eliminarlo a través de la piel y para ello se produce una vasodilatación y aumento del flujo sanguíneo, acompañados de un aumento en la frecuencia cardíaca y respiratoria para poder impulsar toda la sangre. En una situación normal y durante un tiempo controlado se puede sobrellevar, sin embargo, en personas con patologías cardíacas o respiratorias preexistentes induce a un paro cardíaco por aumento ineficaz del flujo e intolerancia al calor<sup>9</sup>. Por otro lado, puede darse trombosis coronaria y cerebral, ya

que el estrés por calor aumenta el recuento plaquetario, viscosidad sanguínea o el colesterol plasmático.

- **Efectos indirectos del frío:** en este caso también se van a ver afectados los sistemas cardiovascular y respiratorio. Hay una mayor prevalencia de mortalidad por exposición al frío debido al aumento de la presión sanguínea, lípidos séricos y fibrinógeno. Además, se da una hemoconcentración (aumento de glóbulos rojos) acompañada de un descenso de la vitamina D (protector coronario), cuyo resultado es un aumento del riesgo de trombosis. También se ha comprobado que hay mayor susceptibilidad de infecciones virales y enfermedades respiratorias debido a la broncoconstricción inducida por el frío.

Todos estos efectos dependen de la predisposición individual, la edad, el sexo y otros factores de riesgo, como la obesidad, deshidratación, medicación, alcoholismo, patologías concomitantes, etc.<sup>9</sup>. Es importante saber que el calor desemboca en efectos directos e indirectos inmediatos y acumulativos, es decir, cuantos más días de exposición al calor intenso haya (olas de calor), la mortalidad aumentará exponencialmente a medida que pase cada uno de ellos. Sin embargo, para el frío, hay muchos estudios que demuestran que sus manifestaciones pueden aparecer incluso una semana después de la exposición a temperaturas extremas (olas de frío).

- **OLAS DE CALOR**

El Cambio Climático es el responsable del aumento de las temperaturas no solo en días aislados, sino durante periodos de tiempo cuya tasa de mortalidad aumenta a medida que se hacen más extensos. Estos fenómenos son conocidos como “olas de calor”, teniendo como uno de los más destacados el verano de 2003 con un total de 70.000 muertes en toda Europa<sup>9</sup>. El impacto que producen se mide en función de los grupos de edad y otras variables, como la Humedad Relativa, que en el caso de España tiene una relación inversa con la mortalidad, es decir, a menor Humedad Relativa, mayor será la tasa de mortalidad.

Por otro lado, influye la aclimatación de la población: serán mayores los efectos producidos en junio que en septiembre ya que las temperaturas que se alcanzan son mayores y porque en septiembre la población susceptible ya habrá fallecido.

Otro factor importante es la contaminación, con un crecimiento exponencial en las últimas décadas debido principalmente a causas antropogénicas. Se ha observado un efecto sinérgico



entre partículas del aire y el calor, es decir, la presencia de ambas tiene efecto acumulativo sobre la mortalidad, sobre todo si el tamaño de partículas es inferior a las 10 micras, siendo los mayores de 65 años los más afectados. Estas partículas quedan retenidas en el sistema respiratorio reduciendo su efectividad y causando muertes prematuras, que asociadas al calor intensifican su efecto nocivo.

Finalmente, en relación al Cambio Climático y la mortalidad, destaca también el ozono. Varios estudios de Bélgica y Barcelona<sup>10</sup> demuestran que el ozono es uno de los contaminantes secundarios que más afectan a la población joven durante los meses de verano por su mayor exposición.

Los efectos del calor se hacen más palpables por cada grado que la temperatura máxima diaria supera los 36,5°C, pero afectan de diferente manera en función de la edad. Para deducir el riesgo atribuible en mayores de 65 años se utiliza como herramienta de análisis la metodología de ARIMA y para los menores de 65 años se recurre la modelización de Poisson:

Años	<10	18-44	45-64	65-74	>75
Efecto(%)	Sin efecto	13,1	11,5	18,3	20,1

**Figura 3.** Efecto (%) según los grupos de edad (años) por cada grado en que la temperatura máxima diaria supera los 36,5°C<sup>10</sup>.

Finalmente, en contra de todo pronóstico, se ha observado que la temperatura de disparo de la mortalidad de los grupos de 18-44 años y 45-64 años es la misma que para los mayores de 65 años<sup>11</sup> y las causas, tal y como se ha indicado previamente van a ser de origen cardiovascular (con retardos de 1-4 días) o respiratorio (hasta 7 días después).

- OLAS DE FRÍO

Las olas de frío, a diferencia del calor, tienen un efecto retardado sobre la población aunque dentro de un rango de temperaturas mayor y durante intervalos de tiempo más amplios. Por eso, aunque parece menos evidente, está comprobado que su impacto sobre la salud es mayor, tanto que en zonas como el Este europeo se calculan alrededor de 250.000 muertes a causa de sus efectos<sup>9</sup>. Una de las razones son las consecuencias a largo plazo sobre las enfermedades respiratorias, que terminan afectando el sistema circulatorio e intensifican sus efectos a medida que se van sucediendo las olas de frío.

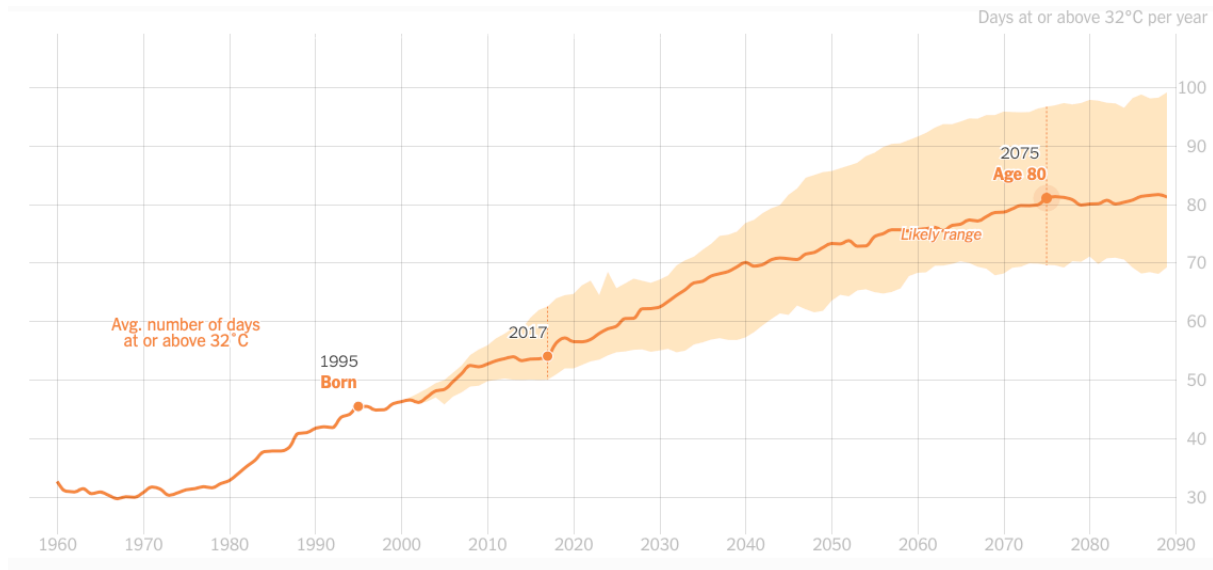
También difiere del calor en el momento de mayor mortalidad: la repercusión de las olas de frío se hace más palpable al final y después de varias exposiciones. Esto ocurre en parte por el fenómeno de dispersión etiológica de persona a persona a lo largo de toda la temporada fría. La población más susceptible a enfermedades por frío van a ser los jóvenes por los hábitos de mayor exposición y vestimenta y, a través de ellos, los ancianos y niños van a ser los que mayor grado de mortalidad tengan.

En este caso, la Humedad Relativa sigue siendo un factor importante pero mucho más complejo que en el calor. Su implicación varía mucho incluso en zonas muy próximas, ya que en el caso de Madrid tiene signo negativo y en Castilla-La Mancha lo tiene positivo, es decir, en el segundo a mayor humedad relativa, mayor mortalidad. Un ejemplo sería el aumento en Toledo de 0,022 muertos por cada unidad que aumenta la Humedad Relativa. La explicación de este fenómeno fue desarrollada por Prieto y sus colaboradores, quienes afirmaron que aunque las olas de frío se deben a la entrada de vientos fríos del Norte, se ven condicionadas por otro factor importante: el aire anticiclónico estancado debido a la contaminación, como ocurre en Madrid. Otros estudios realizados sobre las olas de frío en Madrid<sup>9</sup>, demuestran un aumento de la mortalidad del 9,6% en personas mayores de 75 años por causas respiratorias si la temperatura máxima no llega a los 6°C; en cambio en Castilla-La Mancha<sup>9</sup> es del 10%, y se divide en una primera tanda a los 3-4 días y un segundo pico a los 10 días.

Por último, otra diferencia con el calor, es que con las altas temperaturas no había registro de mortalidad en niños menores de 9 años en Madrid; sin embargo, a causa de las olas del frío y con un retraso de unos 12 días, hay un riesgo atribuible por cada grado que diste de la temperatura umbral del 2% en este mismo rango de edad y del 1,1% en niños menores de un año<sup>9</sup>.

- PREVISIONES

A lo largo de los próximos años el Cambio Climático en lo que a temperaturas se refiere se hará cada vez más palpable, en gran parte por la contaminación y la emisión de GEI. La proyección general para el año 2100 es de un aumento de entre 1,8° y 4°C, aunque varía dentro de las zonas geoclimáticas. En España se prevén aumentos de 13 días en las olas de calor hasta el año 2050 y de 40 días entre los años 2070-2100<sup>9</sup>. Aumenta su ocurrencia y su duración, lo que no implica que dejen de sucederse las olas de bajas temperaturas pero sí se estima que la mortalidad a causa del calor será mucho mayor que la reducción que pueda esperarse en una temporada invernal más suave.

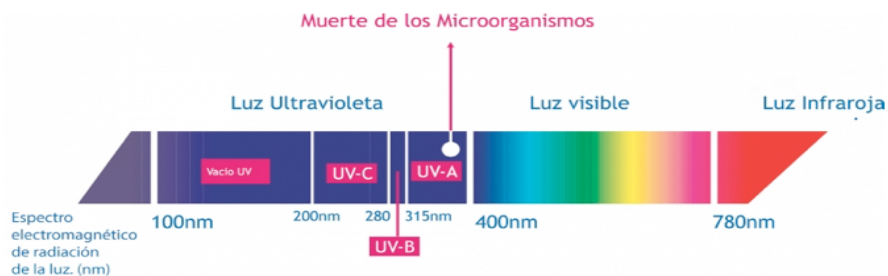


**Figura 4.** Estimación gráfica del aumento anual del intervalo de días que superan los 32°C en Madrid entre los años 1995 y 2075. En el año 2017 hubo 54 días que superaban dicha temperatura y se calculan hasta 80 días que la sobrepasen durante el año 2075<sup>12</sup>.

### **RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y SALUD**

La energía solar es la principal fuente energética para la vida tanto a nivel de organismos individuales para la fotosíntesis, como de ecosistemas ya que modula el clima terrestre. Se trata de un tipo de energía que viaja en forma de radiación electromagnética que se mide en función de la longitud de onda: a menor longitud de onda, mayor es la energía.

El espectro electromagnético de la luz solar está dividido en tres zonas, cada una con una cantidad de energía determinada. Entre ellas, la radiación con mayor efecto nocivo sobre la salud es la radiación ultravioleta, que pertenece al grupo de radiaciones no ionizantes y su longitud de onda se encuentra dentro los 100-400nm. Este intervalo está dividido en UV-A (315-400nm), UV-B (280-315nm) y UV-C (100-280nm)



**Figura 5.** Espectro electromagnético de la luz

La atmósfera terrestre tiene un efecto protector, ya que consigue absorber la radiación UV-C en su totalidad gracias al oxígeno y hasta el 90% de la UV-B<sup>13</sup> gracias al ozono de la estratosfera; por lo tanto, la radiación biológicamente perjudicial es el porcentaje restante de UV-B y la radiación UV-A en su totalidad ya que consiguen llegar a la superficie, produciendo daños y quemaduras a diferentes niveles e, incluso, llegando a ser letal para algunos microorganismos en caso de sobreexposición. A la hora de cuantificar el daño producido, la intensidad de la radiación es importante pero se trata de un valor que depende de muchos factores, como el ángulo de incidencia, la nubosidad, la altitud/latitud, la reflexión y, sobretodo, del ozono ya que es el principal absorbente de la radiación UV-B. Desde los años 1980-1990 se ha visto cómo se produce el agotamiento de la capa de ozono estratosférico y, aunque no es causa ni consecuencia directa del cambio climático, ya que principalmente se da por la acción antropogénica y los GEI, implica un enfriamiento de la de la estratosfera, cambios en las pautas de comportamiento de la circulación troposférica del Hemisferio Sur (no está tan clara su relación con el Hemisferio Norte) y tiene una fuerte interacción con los cambios en el clima a nivel global. Viendo estas interacciones y efectos, se han intentado llevar a cabo medidas que frenen el proceso, pero también que lo reviertan en las próximas décadas, como el Protocolo de Montreal (1987). Gracias a ello, los últimos informes de Evaluación del ozono muestran unas tasas de enfriamiento estratosférico menor desde 1998 hasta 2015 en comparación con los resultados obtenidos entre los años 1979 y 1997<sup>14</sup>. Sin embargo, la radiación ultravioleta y el ozono dependen de muchos más factores (aerosoles, contaminación atmosférica, albedo, etc), con un pronóstico hasta ahora no tan bueno. Para intentar paliarlo, en enero de 2019 entró en vigor la Enmienda Kigali, en la que se establecen objetivos proporcionales al grado de desarrollo de los países participantes: en el 2019 los más desarrollados empiezan a eliminar de forma gradual los HFC, los menos desarrollados tienen como meta congelar su consumo para el 2028 y el grupo intermedio 4 años antes.

Con estas nuevas medidas y, tomando como referencia el último informe de Evaluación Científica del Agotamiento de la Capa de Ozono, que muestra una recuperación de la capa de ozono de entre 1 y 3% por década desde el año 2000, se prevé la recuperación total para el año 2030 en el Hemisferio Norte y 2050 en el Sur<sup>8</sup>.

Como ya se ha mencionado, a nivel biológico la radiación ultravioleta en bajas proporciones es necesaria para la vida, sin embargo, a partir de los años setenta la población

está cada vez más expuesta y se ha visto un aumento en sus efectos perjudiciales no solo por el cambio climático, sino también por los cambios en el estilo de vida (más actividades al aire libre, deporte y la mentalidad de “cuidarse” haciendo ejercicio), la vestimenta y la percepción social de los beneficios del bronceado artificial, entre otros. Además, un punto también muy importante es el envejecimiento de la población: cuanto más longeva sea, más son los años de exposición acumulada.

La OMS ha hecho un reciente estudio sobre la Carga de la Morbilidad atribuible a la radiación ultravioleta solar<sup>15</sup>. El objetivo ha sido determinar la mortalidad/morbilidad y la relación causal entre exposición a la radiación y enfermedad, tomando como medida común los años de vida ajustados en función de la discapacidad (AVAD). Los resultados obtenidos tuvieron tres líneas a seguir:

- 1) La radiación ultravioleta tiene una carga de morbilidad de 0,1% a nivel global, con 1,5 millones de AVAD y 60.000 muertes prematuras.
- 2) Las principales causas de esta morbilidad son las cataratas y melanomas cutáneos malignos.
- 3) Una exposición nula a radiación ultravioleta no está exenta de morbilidad, sino que cuenta con una elevada carga de muertes debido a carencias de la vitamina D, un componente esencial para el desarrollo óseo que se sintetiza en una longitud de onda que ronda los 295-300nm. Con ella se previenen enfermedades como el raquitismo en los niños, la osteoporosis y osteomalacia; pero también sirve como posible prevención de la Diabetes Mellitus I, hipertensión, cardiopatías isquémicas, Tuberculosis y distintos tipos de cáncer, como el colorrectal, próstata o de mama<sup>3</sup>.

A pesar de estos beneficios, la incidencia negativa del exceso de radiación ultravioleta es muy alta y actúa sobre diferentes sistemas a corto y largo plazo. Los órganos principalmente afectados serán los ojos, la piel y el sistema inmunitario.

- **RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA OCULAR**

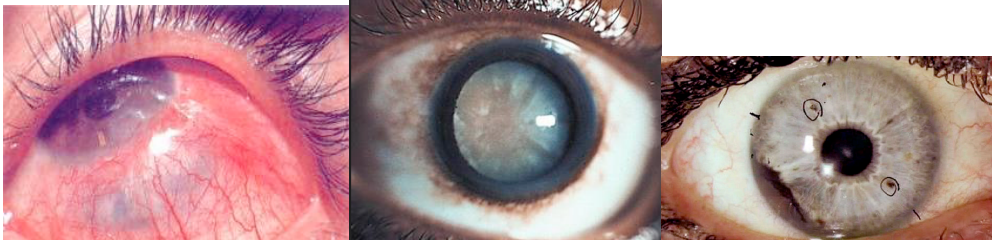
El ojo es un órgano muy sensible y a la vez muy expuesto a la radiación solar, por lo que necesita mecanismos de defensa para protegerse, como la contracción de la pupila para reducir el porcentaje de entrada pero, a pesar de ello, hay veces que se ve desbordado y empiezan a surgir los primeros síntomas de patología.

Los efectos agudos van a ser fotoqueratitis y fotoconjuntivitis, reacciones inflamatorias que surgen horas después de la exposición y que afectan al tejido pseudocutáneo y la piel de los

párpados como si fuera una quemadura solar “típica”<sup>15</sup>. No producen efectos posteriores o pérdida de visión pero sí son muy dolorosas.

Más a largo plazo, surge el fenómeno conocido como cataratas, una queratinización del tejido conjuntival y desnaturalización de las proteínas que produce opacidad del cristalino y pérdida de visión. Es una enfermedad muy común en la tercera edad pero se ha demostrado que la radiación ultravioleta es un factor de riesgo muy importante, sobretodo a nivel subcapsular cortical.

Por último, también aumenta la incidencia de melanomas oculares, que pueden ser externos o internos en función de si afectan a los melanocitos de la conjuntiva o del iris y cuerpo ciliar, respectivamente. Se trata de tumores malignos por sobreexpresión de células melánicas o pigmentarias de origen fundamentalmente cromosómico y que van a producir defectos en la visión periférica, visión borrosa, destellos de luz, etc., y cambios de tipo morfológico a nivel de pupila y pigmentación ocular. Dentro de estas patologías, destaca el melanoma de coroides (intraocular) con una incidencia de 6 por millón en personas de piel clara y 0,3 por millón en personas de coloración oscura<sup>16</sup>.



**Figura 6.** Fotoqueratitis y fotoconjuntivitis

**Figura 7.** Cataratas

**Figura 8.** Melanoma intraocular

- **RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y SU EFECTO SOBRE LA PIEL Y EL SISTEMA INMUNITARIO (SI)**

La piel constituye uno de los órganos más importantes del organismo ya que funciona como una barrera protectora frente al ataque de agentes externos, entre ellos la radiación UV. Se trata de una estructura dinámica y en constante cambio capaz de regenerarse e interactuar con la radiación absorbiendo diferentes longitudes de onda, gracias a los cromóforos (sustancias que absorben fotones). Además forma parte del sistema inmunitario y ambos se ven afectados por el exceso de radiación causado por el Cambio Climático.

La piel está dividida en dos capas: la dermis y la epidermis. La primera tiene una menor densidad celular, pero la segunda cuenta con una población muy heterogénea de células que más tarde intervendrán en procesos patológicos como el cáncer, gracias a los queratinocitos y melanocitos; o las células de Langerhans, células activadas que forman parte del sistema inmune, también afectado por la radiación solar<sup>9</sup>.

Los efectos de la exposición prolongada a un exceso de radiación varían en función del tipo de piel y su tolerancia al sol, la cual se mide mediante la unidad melánica epidérmica y es inversamente proporcional a su pigmentación melánica: en algunas personas, después de varios días tomando el sol, aparece el bronceado debido a una mayor producción de melanina pero en otras, y en menor tiempo, puede provocar la aparición de eritema, que es el enrojecimiento y ligera inflamación de la piel. En ambos casos, también se da un proceso de adaptación al sol a medida que más nos exponemos ya que se engrosan sus capas más externas para ayudar a que penetre menos radiación. Este fenómeno irá acompañado de arrugas, manchas, aparición de lunares y pecas (acumulación de melanina), telangiectasias (dilatación de pequeños capilares) y otros procesos que en su conjunto producen una aceleración del envejecimiento de la piel.

Por otro lado, se pueden producir enfermedades por fotosensibilidad e inmunosupresión, agravando patologías ya existentes o facilitando la aparición de otras nuevas. Según los científicos, esto ocurre por varios motivos:

1. Determinadas zonas de la piel no tendrán la misma capacidad de protegerse frente a agentes externos como el cáncer o de tipo infeccioso debido a que la sobreexposición produce quemaduras que alteran la estructura dérmica e impide que vuelva a actuar como piel sana<sup>15</sup>.
2. La radiación solar interviene en la producción de mediadores inmunitarios y linfocitos T “reguladores”, que normalmente promueven la inmunosupresión. Sasha Madronich, especialista del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR) de Estados Unidos, relacionó este fenómeno con la infección por VIH: según él, la radiación solar rompe moléculas de la piel y los productos obtenidos pueden ser identificados como extraños pero el organismo intenta evitarlo entrando en una fase de inmunosupresión durante varios días o semanas. Además, afirmó que hay evidencias científicas de que el exceso de radiación disminuye la eficacia de las vacunas.
3. Finalmente, la radiación solar interactúa con el ADN produciendo alteraciones genéticas que desembocan en melanomas, tumores y cáncer.

- **RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y EL CÁNCER**

La OMS define cáncer como “un término genérico que designa un amplio grupo de enfermedades que pueden afectar a cualquier parte del cuerpo” y añade que su característica principal es la multiplicación masiva de células anormales que llevan a invadir otras zonas de organismo, ya sea vecinas o no (metástasis).

El cáncer de piel es una patología con una incidencia en continuo aumento, hasta tal punto de considerarse una “epidemia a escala mundial”<sup>17</sup> y, actualmente, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), es la forma de cáncer más habitual en su país, con una tasa de mortalidad de un estadounidense por hora ya que uno de cada cinco lo padecerá en un momento de su vida<sup>18</sup>.

El principal factor de riesgo es la radiación solar ultravioleta, que interactúa con el ADN celular produciendo trastornos genéticos y mutaciones que inducen al crecimiento celular descontrolado. Su incidencia ha ido en aumento no solo por el nuevo estilo de vida, sino también por la disminución de la capa de ozono y por el envejecimiento de la población. Además, se le asocian otros marcadores de riesgo, como la predisposición genética, el fototipo de piel o estados de inmunopresión (que pueden ser inducidos por la propia radiación ultravioleta), entre otros<sup>17</sup>.

**Cáncer cutáneo no melánico (CCNM):** se trata de un tumor maligno diferente a los melanomas y que se va a dividir en carcinoma espinocelular, con una proliferación masiva de los queratinocitos y capacidad de metástasis, y en carcinoma basocelular, producido en las capas más inferiores de la piel. Dentro de los cánceres de piel son los más frecuentes pero su pronóstico es bueno, con solo un 0,1% de muertes en relación al total<sup>19</sup>. La relación entre ambos es de 4:1, con un riesgo vital acumulado de entre 28 y 33% para el basocelular frente a un 7 y 11% en el espinocelular<sup>18</sup>.

En este caso el principal factor son las horas acumuladas de forma intermitente a lo largo de la vida en cuanto a exposición a radiación ultravioleta, por eso es la variedad que más se da en personas de raza blanca en edades avanzadas (son raros los casos previos a los 45 años). También influyen las enfermedades inflamatorias crónicas (quemaduras o ulceraciones), infecciones por papiloma virus, tratamientos prolongados con esteroides o los trasplantes<sup>19</sup>. Por otro lado, según la Asociación Española Contra el Cáncer (AECC) el xeroderma



pigmentosum (genodermatosis que causa alta sensibilidad de los ojos y piel frente a los rayos ultravioleta), epidermodisplasia verruciforme (infección crónica del virus del papiloma humano) y albinismo (ausencia de pigmentación) son enfermedades precancerosas.



**Figura 9.** Xeroderma pigmentosum

**Figura 10.** Epidermodisplasia verruciforme

**Figura 11.** Albinismo

También afirma que su incidencia ha llegado a duplicarse en las mujeres entre los años 1978 y 2002 mientras que en los hombres se ha estabilizado<sup>9</sup>, aunque sus valores son más altos. Los países más afectados van a ser Brasil y Australia, este último con valores de 1035 varones y 472 mujeres por cada 100.000 habitantes, y la menor incidencia se da en Finlandia con solo 6 y 4 casos, respectivamente. En números generales, desde 1960 ha ido creciendo entre el 3 y el 8% Europa, Australia, Estados Unidos y Canadá<sup>17</sup>.

**Cáncer melánico o melanoma cutáneo:** sobreexpresión de células tumorales que afecta a nivel de melanocitos. En comparación con el anterior, su incidencia es mucho menor pero es responsable del 90% de la mortalidad por cánceres de piel y, además, es la neoplasia con mayor número de años potencialmente perdidos<sup>17</sup>. Su factor principal es también la exposición inadecuada y crónica a radiación ultravioleta pero influyen otras variables, como la predisposición genética, ya que hay un 10% más de riesgo si hay antecedentes familiares o un riesgo 2000 veces mayor de padecerlo en edades tempranas en personas con xeroderma pigmentosum; el sexo, donde la incidencia es similar dependiendo del país pero varía la zona afectada (tronco, cara y cuello para los hombres y piernas para las mujeres); la edad, cuya media son los 50 años, con más pacientes a partir de los 30; la altitud, afectando más a medida que nos acercamos al Ecuador; y, por último, el fototipo de piel<sup>19</sup>. El fototipo se refiere al tono de piel de una persona y a la facilidad con la que se broncea en función de ello.

A su vez, está relacionado con la incidencia de las quemaduras y el cáncer, ya que aquellas personas con piel más clara tienen menor tolerancia al sol.

FOTOTIPO	CARACTERÍSTICAS	BRONCEADO	QUEMADURAS	RIESGO DE CÁNCER DE PIEL	FOTOENVEJECIMIENTO
I	Piel clara y con pecas, pelo rubio y ojos claros	Nunca	Siempre	<b>ALTO</b>	Intenso y prematuro
II	Piel clara y sensible, pelo rubio	Lento	Rápido	<b>ALTO</b>	Intenso y prematuro
III	Tez morena y piel clara	Gradual y uniforme	Moderado	<b>MOREDRADO</b>	Moderado
IV	Morenos de piel clara, ojos y pelo oscuro	Bastante	Poco	<b>BAJO</b>	Ligero
V	Tez morena oscura, poco sensible	Intenso	Rara vez	<b>MÍNIMO</b>	Lento y gradual
VI	Piel negra y mulata	Siempre	Nunca	<b>MUY BAJO</b>	Lento y mínimo

**Figura 12.** Las personas de fototipo más oscuro tienen una menor incidencia de melanoma, sin embargo, en caso de darse será mucho más grave ya que el diagnóstico es más difícil y tardío<sup>9</sup>.

En cuanto a las estadísticas, 81% de los afectados están en países desarrollados<sup>19</sup>. Su mortalidad ha ido aumentando hasta transformarse en una de las neoplasias con mayor ritmo de crecimiento anual, superado solo por el Linfoma No-Hodgkiniano y el cáncer de pulmón o testicular, dependiendo del sexo<sup>20</sup>. Un periodo especialmente alarmante fue el intervalo de años comprendido entre 1988 y 1992 con la mayor tasa de incidencia registrada en la población europea de Zimbabue, que afectó a ambos sexos pero en el caso de las mujeres fue 80 veces superior a la población de origen africano<sup>17</sup>. Por otro lado, se volvió a registrar una incidencia preocupante para los dos sexos en Australia entre el año 1998 y el año 2002<sup>17</sup>. El punto en común en los dos casos es la población blanca no autóctona expuesta a una irradiación solar superior, igual que en Nueva Zelanda o Estados Unidos.

En el caso de Europa, donde representa el 1,5% de los tumores afectando sobre todo a las mujeres (aunque su supervivencia es mayor), la población más afectada solía ser la del Norte y Oeste europeo debido a su fototipo y nivel de exposición en verano, destacando el número de diagnósticos en Suiza entre los años 1998 y 2002. Sin embargo, en los últimos años su incidencia en estas zonas se está manteniendo estable mientras que aumenta en el Sur y Este del continente<sup>19</sup>.

Actualmente, España vive el mismo patrón de evolución que el resto europeo y se diagnostican cerca de 3.700 casos anuales, valor en alza sobre todo a partir de 1990<sup>19</sup>.

Tal y como puede observarse, la mortalidad fue creciendo de forma brusca hasta finales de siglo y podría estar relacionado con el cambio de mentalidad y a la vez desconocimiento de la patología en sí, tanto de la población como de los servicios sanitarios. Hoy en día, la tasa de supervivencia está en aumento a la vez que disminuye la mortalidad. La AECC afirma que “la mortalidad por melanoma ha aumentado mucho en las últimas décadas entre la población blanca de todo el mundo, pero este aumento no ha sido proporcional al de la incidencia, debido al diagnóstico de tumores cada vez más pequeños”. Esto se debe a los avances en las técnicas de diagnóstico precoz, los tratamientos y, también muy importante, la concienciación de la población en cuanto a los peligros de la exposición crónica al sol.

## **CONCLUSIONES**

Una vez revisada la bibliografía relacionada con el Cambio Climático, la primera conclusión clara es que la evaluación climatológica de la Tierra tiene grandes repercusiones sobre la Salud Pública y todo ello se refleja mediante la variación de los indicadores sanitarios, aparición de nuevas patologías o el agravamiento de las anteriores, afectando sobre todo el sistema cardiaco, el respiratorio y la piel. Actualmente el Cambio Climático está entrando en una fase irreversible que producirá un aumento global de las temperaturas de hasta 4°C y una mayor incidencia de la radiación ultravioleta, factor imprescindible para la vida pero que en exceso tiene un efecto negativo en cuanto a la aparición de distintos tipos de cáncer, una patología hasta ahora desconocida pero cuya incidencia se está estabilizando gracias al diagnóstico precoz<sup>19</sup>.

Teniendo en cuenta este pronóstico, se están tomando medidas que frenen el efecto invernadero producido por los GEI y que ayuden a recuperar los niveles de ozono estratosférico con el objetivo de reducir los efectos del Cambio Climático. Para ello, cada año surgen nuevas negociaciones en las que los países deben comprometerse a colaborar y a concienciar a la población. Para este año queda prevista la Cumbre del Clima convocada el 20 de septiembre de 2019, donde se abordarán temas relacionados con la industria, las fuentes de energía y las finanzas<sup>8</sup>.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. McMichael AJ, Campbell-Lendrum DH, Corvalán CF, et al. Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas. Resumen [Internet]. [Organización Mundial de la Salud]; 2003 [citado Nov 2018]. Disponible en: <https://www.who.int/globalchange/publications/en/Spanishsummary.pdf>

2. Organización Mundial de la Salud. Cambio climático y Salud. Nota descriptiva N°266, 29 junio 2016. [Internet]; 2016 [citado Nov 2018]. Disponible en: <http://origin.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>
3. Observatorio de Salud y Cambio Climático [Internet]. Madrid: OSCC; 2013. [citado Nov 2018]. Disponible en: [http://www.oscc.gob.es/es/general/grupo\\_cientifico/el\\_ipcc\\_es.htm](http://www.oscc.gob.es/es/general/grupo_cientifico/el_ipcc_es.htm)
4. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Quinto Informe de Evaluación [Internet]. Ginebra: IPCC; 2014. [Citado Nov 2018]. Disponible en: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
5. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Informe Especial [Internet]. Ginebra: IPCC; 2018. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <https://www.diplomatie.gouv.fr/es/asuntos-globales/cambio-climatico/eventos/articulo/informe-especial-del-grupo-intergubernamental-de-expertos-sobre-el-cambio>
6. Vilaseró M. España prohibirá la matriculación de coches de Diésel, gasolina e híbridos a partir del 2040. El Periódico [Internet]. 13 Nov 2018 [Citación Nov 2018]. Disponible en: <https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20181113/espana-prohibira-matriculacion-coches-diesel-gasolina-hibridos-desde-2040-7143700>
7. Ministerio para la Transición Ecológica [Internet]. Madrid: MITECO; 2018. [Citación Ene 2019]. Disponible en: <https://fundacion-biodiversidad.es/es/prensa/actualidad/concluye-la-cumbre-del-clima-de-katowice-cop24>
8. Organización Naciones Unidas. Cambio Climático [Internet]. Nueva York: ONU; 2018. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
9. Instituto Sindical Trabajo, Ambiente y Salud. Cambio Global España 2020/50. Cambio Climático y Salud [Internet]. Asturias: ISTAS, SESA, CCEIM; 2012. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <http://www.ccoo.es/403af6b784a7348f1776d7c59bec47f1000001.pdf>
10. Linares C, Díaz J, Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria según diferentes grupos de edad. Gac Sanit, 2008. [Citado Nov 2018]. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0213-91112008000200005#bajo](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112008000200005#bajo)
11. Díaz J, Linares C, Tobías A. The effect of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) for the 45-64 age group. Int J Biometeorol, 2006. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-006-0033-z>
12. The New York Times. How Much Hotter Is Your Hometown Than When You Were Born?[Internet]. New York: NYT; 2019.[Citado Ene 2019]. Disponible en: <https://www.nytimes.com/interactive/2018/08/30/climate/how-much-hotter-is-your-hometown.html>
13. Organización Mundial de la Salud. Índice UV Solar Mundial Guía Práctica [Internet]. Ginebra: OMS; 2003. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <https://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>
14. Organización Mundial de Meteorología. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018 (Executive Summary) [Internet]. Ginebra: OMM; 2018. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/mop30/presession/Background-Documents/SAP-2018-Assessment-ES-October2018.pdf>

15. Lucas R, McMichael T, Smith W, et. al. La carga mundial de morbilidad atribuible a la radiación ultravioleta solar (RUV) [Internet]. Ginebra: OMS; 2006. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <https://www.who.int/uv/publications/solaradgbd/es/>
16. Harrison. Principios de medicina interna. Editorial Intereamericana McGraw-Hill, 13ª edición. Madrid, 1994.
17. Aceituno-Madera P, Buendía-Eisma A, Arias-Santiago S, et. al. Evolución de la Incidencia del Cáncer de Piel en el periodo 1978-2002. Actas Dermosifiliográficas; 2010. Citado Nov 2018]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.878.3720&rep=rep1&type=pdf>
18. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Efectos de la radiación UV en la salud [Internet]. Washington D. C.: EPA; 2016. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-uv-en-la-salud#cat>
19. Asociación Española contra el Cáncer [Internet]. Madrid: AECC; 2018. [Citado Nov 2018]. Disponible en: <https://www.aecc.es/es>
20. Avilés J.A., Lázaro P., Lecona M. Epidemiología y supervivencia del melanoma cutáneo en España: estudio de 552 casos (1994– 2003). Rev Clin Esp. 2006; 206:319-25.