



ACTAS Derma-Sifiliográficas

Full English text available at
www.elsevier.es/ad



ARTÍCULO DE OPINIÓN

Implicaciones dermatológicas del cambio climático y de la disminución de la capa de ozono

Climate change and the thinning of the ozone layer: implications for dermatology

F. López Figueroa

Departamento de Ecología y Geología, Grupo de Investigación «Fotobiología y Biotecnología de organismos acuáticos», Facultad de Ciencias, Málaga, España

En los últimos años se han publicado un buen número de artículos científicos e informes sobre el impacto del cambio climático en la salud humana y específicamente en la piel¹⁻⁴. De forma independiente también se ha investigado sobre el impacto de la reducción del ozono estratosférico sobre la salud humana^{5,6}. Sin embargo, sólo recientemente se está investigando cómo el cambio climático está afectando a la recuperación de la capa de ozono y sus implicaciones medioambientales y de salud pública^{2,7}.

En mi opinión las medidas locales, nacionales e internacionales que se están tomando para reducir o mitigar el calentamiento global son insuficientes. Las emisiones de CO₂ deben reducirse entre el 25-40% en el año 2020 (respecto a las emisiones de 1990) para mantener el aumento de temperatura por debajo de 2 °C dentro de este siglo⁸. Los informes científicos indican que la subida por encima de 2 °C puede producir grandes alteraciones en los ecosistemas terrestres y acuáticos, de ahí que se haya marcado como objetivo ese límite⁸. Sin embargo, las reducciones globales aprobadas por el Protocolo de Kyoto son sólo del 5%, 8% de media en el caso de la mayoría de los países de la Unión Europea. Este protocolo finaliza en el año 2012, y aunque ya se están produciendo reuniones internacionales para definir futuras

reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, no parece que haya voluntad por parte de los países más desarrollados de cambiar el actual modelo energético y económico.

La recuperación de la capa de ozono, sin embargo, va por buen camino; o eso al menos creíamos hasta que se han publicado modelos predictivos de interacción entre cambio climático y niveles de ozono^{9,10}. Se ha producido una cierta estabilización en la destrucción anual del ozono, pues el Protocolo de Montreal (1987) ha conseguido una disminución sustancial en la concentración de gases destructores de ozono en la estratosfera. Sin embargo, aún se está muy lejos de recuperar los niveles de 1980. El agujero de la capa del ozono de la Antártida sobre la estación Polo Sur, que fluctúa siguiendo pautas estacionales, alcanzó su circunferencia máxima a final del mes de septiembre 2009, según las mediciones realizadas por investigadores de la Administración Nacional del Océano y Atmósfera de los Estados Unidos de Norteamérica (NOAA). El valor mínimo de espesor de la capa de ozono en 2009 (98 Unidades Dobson [UD]) es el séptimo más pequeño desde 1986¹¹. El récord (mínimo) de 89 UD se registró el 6 de octubre de 1993 (datos de NOAA publicados en el año 2010 en <http://www.noaa.gov>). Las unidades Dobson (UD) indican la cantidad de ozono en una columna vertical de aire, 1 UD representa una capa de 0,01 mm de espesor en condiciones normales de presión (1 atm) y de temperatura (0 °C).

Correo electrónico: felix_lopez@uma.es

En la mayoría de los informes y artículos sobre evolución de la capa de ozono^{1,7,12} se prevé que se producirá su recuperación dentro del siglo XXI (2060-2070). Sin embargo, nuevos modelos de predicción de interacción de cambio climático y ozono estratosférico apuntan a que esta recuperación no se producirá en todas las latitudes^{9,10}. El cambio climático reducirá la temperatura y la abundancia de vapor de agua en la estratosfera. Como consecuencia, la pérdida de ozono se incrementará en las zonas polares^{9,10}. Sin embargo, en latitudes medias y altas del hemisferio Norte se producirá un efecto contrario; más ozono que el que había antes de 1980 y por lo tanto menos radiación UVB incidente.

El cambio climático va a acelerar la circulación de aire en la estratosfera desde el Ecuador hacia el Norte, produciendo una reducción del ozono en las zonas ecuatoriales-tropicales, ya afectadas por una mayor incidencia de radiación UVB debido al menor recorrido de los rayos solares en esas latitudes¹⁰. Por otro lado, este transporte de ozono hacia el Norte aumentará la concentración de ozono en el hemisferio Norte. Basado en nuevos modelos acoplados química-clima que permiten aislar los efectos del cambio climático de los de disminución de ozono y de la recuperación del flujo estratosfera-troposfera del ozono, se muestra que para escenarios de emisiones moderadas, de acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), el flujo de ozono estratosfera-troposfera se incrementará un 23% entre 1965-2095, como resultado del cambio climático⁸. Durante este tiempo el índice UV (indicador de irradiancia eritemática) en días despejados decrecerá un 9% en latitudes altas del hemisferio Norte, lo que representa un efecto mayor que el que se espera sólo por la recuperación de la capa de ozono. En cambio, en las zonas tropicales, el índice de UV aumentará un 4% y en latitudes altas del hemisferio Sur un 20% a finales de primavera y principios de verano para el año 2100. Este aumento de incidencia de UVB por fenómenos climáticos se corresponde casi a la mitad del agujero de ozono generado en la Antártida por la incidencia de los gases clorofluorcarbonados (CFC)⁹. En las zonas tropicales se llegará a 15 UD menos, a finales del siglo XXI con respecto a 1980. Sin embargo, en latitudes medias del hemisferio Norte habrá incluso 16 UD más⁹. Las proyecciones sobre la evolución de los gases destructores de ozono y del propio ozono estratosférico indican una reducción de la incidencia de cáncer espinocelular (CSC) de acuerdo al espectro de acción del cáncer de piel (SCUP-h) en el hemisferio Norte y, al contrario, este aumentaría en las zonas tropicales y en latitudes altas del hemisferio Sur⁷. Estos modelos en todo caso no tienen en cuenta las nubes que podrían reducir el índice UV. El cambio climático podría modificar la dosis de radiación UV a través de su influencia en otras variables como nubes y aerosoles¹³. Hay que señalar que diversos estudios muestran que ciertos tipos de nubes pueden aumentar, al contrario de lo esperado, la irradiación tanto de UVB¹⁴ como de UVA¹⁵ respecto a la radiación visible.

Así, desde la publicación de estos trabajos, las predicciones del impacto en la salud humana del cambio climático y de los niveles de ozono deben ser revisadas. Las dosis ambientales de UVB de zonas tropicales y de latitudes altas del hemisferio Sur aumentarán a pesar de la disminución de los CFC, mientras que en el hemisferio Norte se reducirán^{9,10}. Podríamos concluir que habría más

incidencia de cáncer de piel en zonas tropicales y en el hemisferio Sur respecto al hemisferio Norte. Por el contrario, en el hemisferio Norte una menor dosis ambiental de UVB podría repercutir negativamente sobre la síntesis de vitamina D.

En mi opinión el tema es mucho más complejo, ya que se deben tener en cuenta la interacción de diversos factores de cambio climático y su impacto en el incremento de la dosis ambiental de UVB. Por otro lado, habrá que considerar los hábitos de exposición al aire libre y de fotoprotección de la población. La aproximación debe ser interdisciplinaria combinando ciencias experimentales con ciencias sociales.

Se ha relacionado la disminución del ozono con la incidencia de cáncer de piel, fotoenvejecimiento, inmunosupresión y cataratas. Sin embargo, es mucho mayor el efecto del incremento de exposición solar por cambios culturales (patrones de belleza relacionados con el bronceado) y hábitos laborales, recreacionales, deportivos, etc.^{2,4-7}. El posible aumento de la temperatura media en el Reino Unido, entre 2 y 3,5 °C, podría modificar los hábitos de los británicos, que pasarían a estar más tiempo expuestos a la radiación solar, lo que conllevaría un mayor riesgo de sufrir cáncer de piel². En un estudio realizado en Australia se indica que la incidencia de quemaduras solares se dobla cuando la temperatura ambiental está en el rango de 19-27 °C, comparada con temperaturas iguales o inferiores a 18 °C, debido a que la población realiza más actividades al aire libre¹⁶. A temperaturas superiores a 27 °C, sin embargo, las quemaduras solares se reducen porque la población se refugia en ambientes de sombra.

Las implicaciones dermatológicas del calentamiento global, aunque pueden ser directas, en general están relacionadas o interaccionan con otros factores, resultando muy difícil concluir relaciones causa-efecto simples. En términos generales, de acuerdo al informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS)¹, un cambio en las condiciones climáticas puede tener tres tipos de repercusiones en la salud:

1. Repercusiones más o menos directas causadas en general por fenómenos meteorológicos extremos. Es el caso de hipersensibilidad de la piel, mayor incidencia del acné, aumento de incidencia de infecciones cutáneas de la flora cutánea habitual constituidas por gérmenes gram positivos (*Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pyogenes*), infecciones provocadas por contacto prolongado con gérmenes gram negativos menos habituales (*Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Burkholderia pseudomallei*, entre otros) que viven en aguas contaminadas tras eventos climatológicos extremos (inundaciones y tsunamis), dermatosis por baja humedad relativa (eliminación transepidermica de agua) y brotes de diversas dermatosis como dermatitis atópica.
2. Consecuencias para la salud de diversos procesos de cambio ambiental y perturbaciones ecológicas resultantes del cambio climático. Los efectos del cambio climático a medio y largo plazo sobre la producción vegetal, disponibilidad de agua potable, subida del nivel del mar, acidificación del océano, etc. tendrán consecuencias en la calidad de vida, patrones alimentarios y en consecuencia en la salud humana. El aumento paulatino de la temperatura facilitará infecciones por proliferaciones

de vectores de algunas enfermedades como la malaria, dengue, leishmaniosis, cólera, paludismo, Oripouche, enfermedad de Lyme y mareas rojas, entre otras.

3. Consecuencias para la salud (traumáticas, infecciosas, nutricionales, psicológicas y de otros tipos) que se producen en poblaciones desplazadas a raíz de perturbaciones económicas, degradaciones ambientales y situaciones conflictivas originadas por el cambio climático. Las afecciones en la piel, y en general en la salud humana, estarán influenciadas por el nivel económico y la calidad de los sistemas de salud pública de los países. El cambio climático no hará sino aumentar las grandes desigualdades que ya existen en la Tierra, siendo África el continente que será más castigado.

En las estimaciones de la incidencia del cáncer cutáneo debido a la destrucción del ozono se asume que otros factores implicados se mantienen inalterados, lo cual de nuevo simplifica el fenómeno. Se prevé un exceso de incidencia del 9% en 2050 en el escenario más optimista y del 300% en el más pesimista^{17,18}. Estas estimaciones se han hecho extrapolando las dosis carcinogénicas en ratones sin pelo ajustando los datos en función de las diferencias epidérmicas con la piel humana. Se ha estimado que en el caso del melanoma por cada 1% de disminución de grosor de la capa de ozono su incidencia aumentará entre un 1-2%^{17,18}. Esta relación entre el incremento de radiación UVB y el efecto biológico se conoce como factor de amplificación biológica. En el caso del carcinoma espinocelular la disminución del 1% de la capa de ozono produciría un aumento del 3-4,6% y del basocelular del 1,7-2,7%^{12,19}. El cáncer cutáneo no melanoma presentaría un incremento mayor que el melanoma¹². Mientras el carcinoma espinocelular se relaciona con la dosis de radiación UVB acumulada a lo largo de la vida¹², el basocelular parece más relacionado con eventos de exposición a alta radiación de forma intermitente o brusca y con la dosis de radiación solar recibida en la niñez y adolescencia²⁰. En estos estudios no se tienen en cuenta los mecanismos de defensa, como el engrosamiento del estrato córneo y epidérmico o la mejora en hábitos fotoprotectores.

El incremento de temperatura exagera el efecto nocivo de la radiación UVB. En experimentos realizados con ratones se demostró que la eficacia inductora de neoplasias se incrementó el 3-7% de por cada aumento de 1 °C²¹. Usando un valor del 5% de eficacia inductora se calcula que con un incremento de 2 °C a nivel global se pasaría de un exceso de incidencia de tumores originado por el aumento de UVB del 9 al 11% en 2050²².

El hecho de que la síntesis de vitamina D dependa de la pigmentación de la piel y del grado de exposición a la radiación solar ultravioleta, hace que no sea fácil dar una recomendación sencilla sobre las dosis óptimas de exposición a UVB que permitan incrementar suficientemente la síntesis de vitamina D sin incrementar el riesgo de sufrir cáncer de piel. El último informe del panel de expertos²³ sobre destrucción de ozono y efectos en el medio ambiente y salud humana del Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (UNEP)²⁴, ha establecido que la vitamina D₃, formada por exposición de la piel a la radiación UVB, podría estar desempeñando un papel muy activo en la protección de diversos cánceres de órganos internos y enfermedades autoinmunes.

Las dosis personales de radiación UV dependen de muchos factores: ambientales (latitud, altitud, aerosoles, nubes y dispersión) y sociales (tipo de trabajo, ocio, estética, etc.). La mayor sensibilización de la población sobre los daños de la radiación solar UV ha incrementado las medidas fotoprotectoras de carácter preventivo y corrector (evitar la sobreexposición solar, uso de fotoprotectores y ropa adecuada, etc.). El informe de expertos de la UNEP²⁴ plantea una gran controversia en la comunidad científica: hay investigadores que defienden que se está sobreestimando los efectos adversos de la radiación UVB y subestimando los beneficiosos, como la síntesis y acumulación de vitamina D^{25,26}. Los estudios epidemiológicos sobre efectos positivos/ negativos de la radiación UV están teniendo en cuenta en mayor medida el análisis de dosis personalizadas, e incluso proyecciones sobre riesgos en función tanto de los cambios ambientales (recuperación de la capa de ozono, cambio climático) como de los socio-culturales (mayor sensibilización de la población). Ante esta situación, nos podemos preguntar: ¿la mayor fotoprotección de la población frente al eritema por un mayor uso de cremas fotoprotectoras, en un escenario de recuperación de la capa de ozono, afectará a la capacidad de síntesis de vitamina D₃ y por lo tanto a sus efectos beneficiosos?

En el informe UNEP (2007) sobre efectos de la radiación UV en el medio ambiente y salud humana se recoge una controversia entre dos grupos de científicos, en relación con la exposición solar y el balance entre efectos beneficiosos y perjudiciales:

1. Grupo 1⁷: revisa los efectos perjudiciales de la radiación UV y establece que aunque la radiación UV tiene efectos beneficiosos (síntesis de vitamina D₃) no se pueden establecer recomendaciones sencillas que garanticen un balance entre efectos positivos de la vitamina D y efectos negativos de la sobreexposición a la RUV.
2. Grupo 2^{25,26}: defiende que se están sobreestimando los efectos adversos de la RUVB y subestimando los beneficiosos (síntesis de vitamina D₃), ya que en el balance riesgo/ beneficio de la UVB predomina el beneficio. La incidencia y mortalidad del cáncer de piel es mucho menor que los efectos perjudiciales de una exposición solar inadecuada o ingesta de precursores de vitamina D. Se ha llegado incluso a cuantificar los beneficios de la radiación UVB y vitamina D comparado con los riesgos del exceso de radiación UV.

En relación con las dosis recomendadas de producción de vitamina D₃ encontramos diferentes propuestas:

1. La exposición a la radiación UV de un 25% de la dosis mínima eritemática (MED) sobre aproximadamente un 25% del área total de piel (cara, manos y brazos) produce una dosis equivalente a la vitamina D ingerida de unas 1.000 unidades²⁷.
2. Quince minutos de exposición de todo el cuerpo en verano al mediodía (aproximadamente 1 MED) es comparable a la ingesta de 10.000 unidades (250 µg) de vitamina D₃²⁸.

3. La exposición de 1/3 a 1/6 de la MED en brazos, manos y cara produce de 200 a 600 unidades equivalentes a la de vitamina D₃ ingerida²⁹.

Cuando la radiación solar es suficiente, un análisis de riesgo de sufrir eritema por exposición solar frente al beneficio por la síntesis de vitamina D₃ muestra que lo mejor es una corta exposición al sol en las horas centrales del día³⁰. En invierno no es posible sintetizar vitamina D₃ en latitudes altas, o el tiempo necesario lo hace impracticable³¹. En un estudio realizado en Manchester (Reino Unido) alrededor del 62,5% de la población tenía una dosis insuficiente de vitamina D₃ (20-32 ng ml⁻¹) en invierno. Esta concentración aumentaba sensiblemente cuando las personas se sometían a exposiciones cortas con radiación UV artificial que simulaba los días de verano³¹. No obstante, las dosis naturales de verano al mediodía seguían siendo subóptimas incluso tras la exposición durante 15 minutos al sol de un 35% del cuerpo³¹. Así, para exposiciones solares bajas, como ocurre en latitudes altas, existe sólo una pequeña ventana para la adecuada exposición a radiación UV (síntesis de vitamina D₃).

Conclusiones

Se necesita abordar de una manera más interdisciplinar los efectos del cambio climático sobre la capa de ozono y, por lo tanto, sobre las dosis ambientales de radiación UVB y su impacto en la salud humana^{32,33}. Los últimos modelos climáticos apuntan a que al final de este siglo, en las zonas tropicales y latitudes altas del hemisferio Sur, no se recuperará la capa de ozono como indicaban modelos climáticos anteriores. Así, las campañas de salud pública a favor de la fotoprotección deben intensificarse en estas zonas. Por otro lado, en el hemisferio Norte la capa de ozono no sólo se recuperará, sino que habrá más ozono que en 1980. Las recientes publicaciones sobre el sistema inmune y radiación UVB^{7,26} ponen en evidencia la importancia de la vitamina D₃ en el control inmunitario, favoreciendo la vía Th2 (inmunidad humoral y procesos antiinflamatorios), y por lo tanto la disminución de respuestas autoinmunes. Se ha demostrado en estudios epidemiológicos una relación entre exposición solar, acumulación de vitamina D y menor incidencia en cánceres de órganos internos³⁴. La radiación UVB previene de más cánceres de los que contribuye a producir su génesis²⁵. La protección frente a cánceres internos se consigue a dosis más altas de vitamina D₃ (1.500-4.000 unidades) que las recomendadas por el Instituto de Medicina (IOM) y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norteamérica (USDA).

Hay que investigar más sobre fotoprotección frente a la radiación UVA, pues la población recibe dosis mayores que de radiación UVB (la radiación UVA se relaciona con daño oxidativo y cáncer de piel). Hay que señalar que las lámparas empleadas en los centros de bronceado están enriquecidas en UVA respecto al espectro solar. La irradiancia es unas 4 veces mayor que la irradiancia solar al mediodía en el mes de junio en Málaga. Por otro lado, la irradiancia efectiva para el fotoenvejecimiento y formación de radicales libres es 6 y 7 veces mayor, respectivamente, comparada con la irradiancia efectiva solar³⁵. Se necesita investigar más sobre los mecanismos de acción de la vitamina D y realizar estudios

epidemiológicos que incluyan dosis efectivas de radiación solar y de vitamina D para poder conocer el impacto de la disminución de dosis ambiental de UVB en el hemisferio Norte por efecto del cambio climático.

Se adjunta como anexo direcciones de páginas Web donde se puede encontrar información de interés sobre la evolución de la capa de ozono, radiación UV y cambio climático.

Anexo 1.

Páginas Web de interés sobre ozono, UV y efectos en la salud humana y medio

- <http://www.aemet.es>; Agencia Estatal de Meteorología (España).
- <http://www.bom.gov.au>; Servicio Meteorológico de Australia.
- <http://www.epa.gov>; *Environmental Protection Agency* (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica).
- <http://www.ipcc.ch>; *Intergovernmental Panel of Climate Change* (Panel intergubernamental de cambio climático de las Naciones Unidas).
- <http://www.mma.es>; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del gobierno de España.
- <http://www.nasa.gov>; *National Aerospace Agency* (Agencia Aeroespacial de Estados Unidos de Norteamérica).
- <http://www.niwasce.co.nz>; *National Institute of Atmospheric and water Research* (Instituto de investigaciones atmosféricas y acuáticas de Nueva Zelanda).
- <http://www.noaa.gov>; *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Administración Nacional del Océano y Atmósfera de Estados Unidos de Norteamérica).
- <http://ozone.unep.org>; *United Nations environment Programme* (Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas).
- <http://www.who.int>; *World Health Organization* (Organización Mundial de Salud de Naciones Unidas).
- <http://www.wmo.ch>; *World Meteorological Organization*. Organización meteorológica Mundial. Es la entidad oficial de las Naciones Unidas sobre meteorología, clima y agua, con sede en Suiza.
- <http://www.woudc.org>; Servicio Meteorológico de Canadá.

Bibliografía

- Informe de la OMS sobre Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (OMS); 2003. p. 37.
- Diffey B. Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin. *Phys Med Biol*. 2004;49:1-11.
- Thong HY, Maibach H. Global warming and its dermatological implications. *Int J Dermatol*. 2008;47:522-4.
- Llamas Velasco M, García Díez A. Cambio climático y piel: retos diagnósticos y terapéuticos. *Actas Demosifiliogr*. 2010;101:403-12.
- Kricker A, Armstrong BK, English DR. Sun exposure and non-melanocytic skin cancer. *Cancer Causes Control*. 1994;60:367-92.
- Harrison GI, Young AR. Ultraviolet radiation-induced erythema in human skin. *Methods*. 2002;28:14-9.

7. Norval AP, Cullen FR, de Grijil FR, Longstreth J, Takizawa Y, Lucas RM, et al. The effect on human health from stratospheric ozone depletion and its interaction with climate change. *Photochem Photobiol Sci.* 2007;3:232–51.
8. Pachauri RK, Resinger A. In: Sea S, editor. *Cambio climático 2007: informe de síntesis. "Contribución del grupo de trabajo I al IV Informe de Evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático"*. Cambridge UK: Cambridge University Press; 2007. p. 43–97.
9. Li F, Stolarski RS, Newman PA. Stratospheric ozone in the post-CFC era. *Atmos Chem Phys.* 2009;9:2207–13.
10. Hegglin MI, Shepherd TG. Large climate induced changes in ultraviolet index and stratosphere to troposphere ozone flux. *Nature Geoscience.* 2009;2:687–91.
11. Farman JC, Gardiner BG, Shanklin JD. Large loss of total ozone in Antarctica reveals seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature.* 1985;315:207–10.
12. De Grijil FR, Longstreth J, Norval M, Cullen AP, Slaper H, Kripke ML. Health effects of stratospheric ozone depletion and interaction with climate change. *Photochem Photobiol Sci.* 2003;2:16–28.
13. Kerr JB, Seckmeyer G (lead authors). Surface ultraviolet radiation: past and future Chapter 5 In *Scientific assessment of Ozone depletion 2002: Global Ozone research and monitoring, 2003; Project Report n°47.* Geneva.p. 56.
14. Sabburg J, Wong J. The effect of clouds on enhancing UVB irradiance at the earth's surface: one year study. *Geophys Res Lett.* 2000;27:3337–40.
15. Sabburg J, Parisi AV, Wong J. Effect of cloud on UVA and exposure to humans. *Photochem Photobiol.* 2001;74:412–6.
16. Hill D, Boulter J. Sun protection behaviour: determination and trends. *Cancer Forum.* 1996;20:204–11.
17. Lautenschlager S, Wuld HC, Pittelkow MR. Photoprotection. *Lancet.* 2007;370:528–37.
18. Garland CF, Garland FC, Gorham ED. Epidemiologic evidence for different roles of ultraviolet A and B radiation in melanoma mortality rates. *Ann Epidemiology.* 2003;13:395–404.
19. Armstrong BK. Stratospheric ozone and health. *Int J Epidemiol.* 1994;23:873–85.
20. Gallagher RP, Hill GB, Bajdik CD, Fincham S, Coldman AJ, McLean Dim Threlfall WJ. Sunlight exposure, pigmentary factors and risk of non melanocytic skin cancer: I Basal cell carcinoma. *Arch Dermatol.* 2002;28:14–9.
21. Freeman RG, Knox JM. The factor of temperature on ultraviolet injury. *AECH Environ Health.* 1965;11:477–83.
22. Van der Leun JC, de Grijil FR. Climate change and skin cancer. *Photochem Photobiol Sci.* 2002;1:324–6.
23. Van de Leun J, Bornean J, Xang X. Environmental effects of ozone depletion and its interaction with climate change: 2006 assessment. Executive summary. *Photochem Photobiol Sci.* 2007;6:212.
24. UNEP (2007). Report of the 19th meeting of the parties to the Montreal Protocol of substances that deplete the ozone layer UNEP/OZL. Pro. 19/7 1:65.
25. Grant WB. A meta-analysis of second cancer after diagnosis of non melanoma skin cancer: additional evidence that solar ultraviolet irradiance reduced the risks of internal cancers. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 2007;103:668–74.
26. Grant WB, Moan J, Reichrath J. Comments on "The effect on human health from stratospheric ozone depletion and its interaction with climate change". *Photochem Photobiol Sci.* 2007;6:912–5.
27. Webb AR, Engelsens O. Calculated ultraviolet exposure levels for healthy Vitamin D status. *Photochem Photobiol.* 2006;82:1697–703.
28. Holick MF. Vitamin D: importance in the prevention of cancers, type 1 diabetes, heart disease and osteoporosis. *Am J Clin Nutr.* 2004;79:362–71.
29. Vieth R. Vitamin D supplementation, 25-hydroxyvitamin D concentration and safety. *Am J Clin Nutr.* 1999;60:842–56.
30. Samanek AJ, Croager EJ, Milne E, Orince R, McMichael AJ, Lucas RM, et al. Estimates of beneficial and harmful sun exposure times during the year for major Australian population centres. *Med J Austral.* 2006;184:228–41.
31. Rhodes LE, Webb AR, Fraser HI, Kift R, Durkin MT, Allan D, et al. Recommended summer sunlight exposure levels can produce sufficient (>20 ng ml⁻¹) but not the proposed optimal (>32 ng ml⁻¹) 25 (OH)D levels at UK latitudes. *J Invest Dermatol.* 2010;130:1411–8.
32. Engelsens O. The relationship between ultraviolet radiation exposure and Vitamin D Status. *Nutrients.* 2010;2:482–95.
33. Fioletov VE, McArthur LJ, Mathews TW, Marrett L. On the relations between erythemal and vitamin D action spectrum weighted ultraviolet radiation. *J Photochem Photobiol B.* 2009;95:9–16.
34. Martens WJM. Health impacts of climate change and ozone depletion: an ecoepidemiologic modeling approach. *Environm Health Perspectives.* 1998;107:241–5.
35. Aguilera J, de Gávez NV, Conde R, Pérez Rodríguez E, Viñegla B, Abdala R, et al. Series temporales de medida de radiación solar ultravioleta y fotosintética en Málaga. *Actas Dermosifiliogr.* 2004;95:25–31.