

CAMBIO CLIMÁTICO Y RIESGO DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES TRANSMITIDAS POR VECTORES O CON RESERVARIO ANIMAL

MIGUEL DELGADO RODRÍGUEZ*

Discurso de Ingreso como Académico de Correspondiente en la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental

INTRODUCCIÓN: CAMBIOS EN EL CLIMA

A lo largo de las últimas décadas muchos científicos han alertado sobre la posibilidad real de un cambio climático. Ese cambio viene motivado por la suma de dos fenómenos que tienen mecanismos de potenciación entre ellos: la depleción de la capa de ozono y el efecto invernadero. El descenso de la concentración de ozono estratosférico a nivel de los polos, ártico y antártico, supone un aumento de la radiación ultravioleta tipo B y la afectación de muchas especies, especialmente las unicelulares y bacterias, por el daño al ADN [Solomon et al 2014]. La principal causa del descenso del ozono es la emisión de gases clorofluorocarbonos (CFC), cuyo origen es conocido (propelentes de esprays, refrigeración y aeronáutica) y su uso ha sido limitado por el acuerdo del protocolo Montreal de 1987, firmado por casi 140 países. Es esperanzador que el agujero del polo Ártico esté decreciendo y que la progresión del Antártico se ha controlado parcialmente [Chipperfield et al 2015, Ewart et al 2015]. El máximo en la depleción de ozono estratosférico se alcanzó en el Antártico en 2011 y, aunque se mantiene, se considera según los modelos que el problema se puede controlar en unos 25 años [Manney et al 2011]. No hay apenas trabajos sobre el efecto de la deple-

* Catedrático de Medicina Preventiva y Salud Pública, Universidad de Jaén. Director Científico de CIBER-ESP, Ministerios de Sanidad y Economía, Madrid

ción de ozono y el riesgo de enfermedades transmisibles. El interés actual se orienta claramente hacia el efecto invernadero.

El efecto invernadero se produce porque en la atmósfera terrestre se acumulan gases que son transparentes a la radiación solar recibida durante el día, pero que absorben parte de la radiación infrarroja de onda larga que el albedo de la tierra despiden durante la noche para alcanzar el equilibrio térmico. Esos gases son esencialmente el CO₂, el N₂O, CH₄ y los halocarburos, cuyos orígenes están en el uso de los combustibles fósiles en calefacciones y transporte, el aumento del ganado y los combustibles utilizados en la aeronáutica.

El aumento de la temperatura esperado no está claramente establecido y se estima entre 1.5 y 5.8°C para el final del siglo XXI [McMichael 2012, Patz et al 2005, Patz et al 2014] y de hecho ya se habría producido un aumento de un 1°C en la segunda mitad del siglo XX [Patz et al 2000, Wigley 1999]. El aumento de temperatura condiciona un incremento del deshielo, lo que conlleva una elevación del nivel del mar y cambios en los nichos ecológicos de microorganismos, vectores y reservorios animales. El asunto no es tan simple, porque lo que se ha observado también es que han aumentado los fenómenos de tiempo extremo: sequías, inundaciones, huracanes y similares (tornados y tifones). Varios modelos de cambio climático asocian estas variaciones a un recrudescimiento del fenómeno de El Niño [Díaz 2006, Patz et al 2005].

El Niño recibe su nombre por detectarse alrededor del 25 de diciembre (la Natividad de Jesús) en las costas de Perú, producido por un aumento de la temperatura de la superficie del mar, que descendía de manera notable las capturas pesqueras (lo primero que se notó), favorecidas por la corriente fría de Humboldt. Afecta en realidad a toda la costa americana del Pacífico. En el siglo XX se presentaba cada 3-7 años, hoy cada 1-2. La elevación de la temperatura del mar se asocia con un aumento de la termoclina (las capas calientes son más anchas) y condiciona episodios de sequía, lluvias y tormentas de forma desigual en todo el mundo [Díaz 2006, Patz et al 2005].

Lo anterior puede tener un impacto sobre la salud, porque todos los seres vivos dependen de un rango de temperatura y humedad. Por ejemplo, *Plasmodium falciparum*, agente principal de la malaria, necesita al menos 16°C para reproducirse y muere por encima de un rango 33-39°C [McCarthy et al 2001]. A continuación se enumerarán las...

CONSECUENCIAS GLOBALES PARA LA SALUD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las repercusiones posibles se elaboraron a principios del presente siglo [Haines y Patz 2004, Patz et al 2000, Patz et al 2005, Patz et al 2014]. Se resumen en los siguientes aspectos:

En primer lugar, la elevación del nivel del mar por el calentamiento global incrementará las inundaciones y empeorará la calidad de los acuíferos (con problemas de abastecimiento de agua potable); las inundaciones aumentarán la morbimortalidad y la invasión de la tierra por el mar provocará la migración de millones de seres vivos, con todos los trastornos que ello supone.

En segundo lugar, habrá cambios en los cultivos. Se prevé la migración hacia zonas más templadas de las gramíneas, que proporcionan la base alimentaria de muchas poblaciones, lo que favorecerá las epidemias de hambruna en las más zonas más desfavorecidas. A su vez, una mayor proporción de población malnutrida, con un sistema inmunológico deteriorado, aumentará el contagio y gravedad de muchas enfermedades infecciosas.

En tercer lugar, el fenómeno recrudescido de El Niño, por la mayor frecuencia de las temperaturas extremas (altas y bajas), tiempo extremo y cambios en las precipitaciones, motivará varios hechos:

- Primero, las consecuencias del tiempo extremo repercutirá más en los países poco desarrollados, que no tienen infraestructuras ni recursos. Recuérdese el reciente huracán Matthew (7 al 10-X-2016) y lo que ha producido en Haití, más de 1000 muertes directas, frente a las escasas 10 en los territorios de Carolina del Norte y del Sur de EE.UU.; y además la amenaza de un brote de cólera por destrucción de los servicios de abastecimiento de agua potable y eliminación de las aguas residuales, con independencia del derrumbe de viviendas de mala construcción.
- Segundo, habrá cambios en la polinización, con un aumento de las alergias, especialmente de asma, algo ya documentado en los países occidentales donde hay estadísticas fiables [D'Amato et al 2016].
- Tercero, se producirán alteraciones en la distribución de los contaminantes, sobre todo de los atmosféricos, que no reconocen fronteras. Esto siempre se presupone cuando el clima cambia, pero no hay datos fiables al respecto. El consumo de combustibles fósiles produce un aumento de las partículas y de los óxidos de azufre. Los fenómenos de tiempo extremo conducen a un aumento de las inversiones térmicas, cuya consecuencia

es un acumulo de los contaminantes en la troposfera, y que desde 1952 de forma incuestionable se relacionan con un aumento de la mortalidad, tras el análisis del exceso de mortalidad de 4000 personas en Londres durante la primera semana de diciembre 1952 [Bell et al 2004]. La sequía en enero de 2016 en Madrid, ligada a El Niño, provocó bastantes molestias a todos los habitantes y a los que viajaban a la capital, al limitarse el transporte privado.

- Cuarto, aumentarán los fenómenos adversos provocados por el exceso de calor: las insolaciones y los golpes de calor. Ahora son más frecuentes que antes y desde hace 10 años las autoridades sanitarias autonómicas (por estar la salud transferida) por todos los medios de comunicación previenen a la población sobre las medidas a adoptar. Antes no sucedía así.
- Y quinto, se postula un aumento en el riesgo de las enfermedades transmisibles. Está claro que la elevación de la temperatura influye sobre el hábitat de agentes, vectores y reservorios animales, según la zona, porque la proyección climática no es la misma para todas las regiones. Una visión simple, centrada en enfermedades transmitidas por artrópodos, prevé que el aumento de zonas templadas en la tierra aumentará la difusión de todos estos procesos por una expansión de los insectos.

Una vez enumerados los hechos anteriores, y dado que para varios organismos oficiales El Niño es central en el cambio climático, hay que ilustrar la relación entre...

EL FENÓMENO DE EL NIÑO Y SUS CONSECUENCIAS SOBRE LA SALUD

Hay **ejemplos históricos** de que cambios en el clima tienen repercusión sobre la propagación de enfermedades. Uno de ellos fue la epidemia de peste (*Yersinia pestis*) en la época del emperador Justiniano. En el año 535 tuvo lugar una erupción volcánica, que unos sitúan en Rabaul (Nueva Guinea) y otros en el Krakatoa en el estrecho de la Sonda, en Indonesia. El polvo y las cenizas fueron proyectadas hasta la estratosfera y absorbieron la energía del sol provocando un enfriamiento de la Tierra. Esta menor temperatura permitió que las ratas y las pulgas que les parasitaban pudieran atravesar el desierto que hay entre Etiopía y Egipto (zonas del actual Sudán). La epidemia estalló en 542 y aniquiló al 20% de la población, pero no a Justiniano, que sobrevivió [McMichael 2012].

Otro ejemplo fue la epidemia de peste en Europa en 1347, que supone para muchos el final de la edad media. Un cambio climático (aumento de la temperatura con mayor sequía y escasez de alimentos) en el Kazajstán en los 1330s motivó que se desplazaran las marmotas, reservorio natural salvaje de la peste, y que entraran en contacto con la rata negra o con los propios seres humanos. La peste se desplazó a China, causando una gran epidemia, como consecuencia de una serie de inundaciones (provocadas por el incremento de la temperatura) que hacinaron a los hombres con las ratas al buscar un refugio más seguro. Desde allí, por la ruta de la seda y/o por los caballos del ejército mongol (las ratas y sus pulgas eran polizontes), llegaron al Mar Negro y a la costa mediterránea en 1347 [McMichael 2015]. Esta epidemia mató casi a la tercera parte de la población europea, dio origen a las grandes fortunas del final del medievo (por la concentración de herencias) y fue el determinante de un cambio profundo de mentalidad en los europeos, que se tradujo en el Quattrocento, el paso previo al Renacimiento y a una mayor prevalencia del ateísmo y el *carpe diem* [McNeill 1976].

Cuando la sociedad científica tomó conciencia del fenómeno de **El Niño**, se identificaron muchos **brotes de enfermedades transmisibles** ligados a él. Uno de los más importantes fue el de criptosporidiasis (*C. parvum*) en Milwaukee (Wisconsin, EE.UU.) en la primavera de 1993, con más de 400000 afectados [Eisenberg et al 2005, MacKenzie et al 1994]. Este protozoo, que también tiene un reservorio animal (doméstico -perros y gatos- y salvaje), aunque el contagio predominante es el humano, se transmite por vía digestiva. Este brote se atribuyó a un deshielo tardío en el norte de EE.UU., que aumentó el flujo de agua al lago Michigan (ligado a El Niño), a lo que se sumó un fallo en la planta de potabilización, ya que los filtros se colmataron [Fox y Lytle 1996].

Varias epidemias de hantavirus (familia *Bunyaviridae*) en la zona de las cuatro esquinas (*four corners*, Arizona, Colorado, Nuevo Méjico y Utah) de EE.UU. se han relacionado con El Niño. Esta virosis tiene como reservorio el campañol del ciervo (*Peromyscus maniculatus*) y su origen es Corea (posiblemente la importaron a EE.UU. los barcos en la guerra de Corea en los 1950s). En 1993 se produjo un brote de 48 casos con un 56% de mortalidad [Chapman y Khabazz 1994]. Las causas parecen asociadas a un largo periodo de sequía que acabó con lluvias prolongadas desde la primavera de 1992 hasta 1993; con el reverdecir de la flora, los seres humanos coincidieron más con los ratones que salieron a alimentarse de los piñones, su comida favorita [Engelthaler et al 1999]. Con posterioridad, en 1998-1999, se observó otro brote de 42 casos, también debido al aumento de precipitaciones provocado por El Niño. En este

caso la mayor parte de los contactos tuvieron lugar dentro del domicilio, donde los ratones buscaban alimento [Hjelle y Glass 2000].

El Niño se ha asociado con un recrudecimiento o incluso con la aparición de epidemias de dengue en el continente americano. Entre ellas destaca la epidemia de 1993-1995 con 140000 casos entre América central y el sur de los EE.UU. [Ferreira 2014]. El análisis de Ferreira se detiene en 2005. Estudios posteriores muestran algo parecido en el mismo territorio. En Colombia, en la comarca de Risaralda el aumento de las cifras de dengue se asocia con El Niño [Quintero et al 2015].

Como es natural, también la peste en tiempos modernos se ha relacionado con el cambio climático. Así, la epidemia de Surat (India) en 1994 y su propagación a ciudades como Delhi, Calcuta, y Bombay, con más de 1200 casos, coincidió con un monzón especialmente fuerte y un menor control de roedores y pulgas [Dutt et al 2006]. Produjo una alerta mundial.

Hay que destacar la introducción de la encefalitis por el virus del Nilo occidental a EE.UU., también relacionada con El Niño, cuyo vector principal es el mosquito *Culex pipiens*, y con reservorio en muchas aves. Empezó en la ciudad de Nueva York en el verano de 1999, tras un episodio de lluvias prolongado y un verano muy cálido. Se detectaron muertes en aves (sobre todo cuervos) y en caballos. Los casos en humanos tardaron en diagnosticarse por no estar preparados los laboratorios para su detección. En ese año se detectaron tan solo 62 casos (confirmados en el año 2000). Se hicieron estudios seroepidemiológicos en diferentes barrios, y en el de Queens la prevalencia alcanzó el 2.6% (muy alta), siendo en otras zonas muy inferior. En el año 2000, tan solo se produjeron 21 casos, todos concentrados en Staten Island y pareció que la epidemia languidecía. Las capturas de aves y mosquitos mostraron que el virus era capaz de sobrevivir al duro invierno de esa zona. Eso preocupó a los servicios de vigilancia y con razón, ya que podía extenderse a otras zonas. Y así fue, empezó a propagarse hacia el oeste y allí encontró el virus otro mosquito más adaptado al frío y que era capaz de albergar a otro arbovirus, el de la encefalitis de San Luis, el *Culex tarsalis*. El resultado fue que en 2003, coincidiendo con otro calentamiento producido por El Niño, se produjeron 9862 casos, con una mortalidad nada desdeñable, del 4%, creciente con la edad de los infectados. En la actualidad el virus del Nilo occidental es el flavivirus más frecuente en América del Norte [Roehrig 2013].

Para acabar este apartado hay que destacar la propagación de otro flavivirus, el chikungunya, descrito por vez primera en Tanzania en 1952, transmitido por mosquitos *Aedes* y, aunque tiene primordialmente una transmisión entre humanos,

también tiene un reservorio animal (primates, ganado y roedores). Dentro de los *Aedes*, el *A. albopictus*, o mosquito tigre, se ha extendido por todas las orillas del mar Mediterráneo. Esto nos hace expuestos a todos. El primer brote europeo se produjo en el verano de 2007 en la provincia de Emilia Romagna, en la ciudad de Rávena, con 204-205 casos, cuyo origen se postula en un viajero procedente de India, y que encontró vectores preparados para la transmisión; tan sólo se produjo una muerte [Angelini et al 2007, Rezza et al 2007]. Este brote no se ha ligado a ningún cambio climático, ni a El Niño. Desde entonces se han producido casos esporádicos importados en otros países europeos. La excepción es un brote en el sur de Francia en 2014, en la zona de Montpellier, en el que se produjeron 11 casos con transmisión autóctona, tras un episodio de lluvia extrema ligado con El Niño [Roiz et al 2015].

Los ejemplos anteriores establecen un vínculo claro entre el cambio climático asociado a un recrudecimiento del fenómeno de El Niño con una repercusión clara sobre la propagación de muchas enfermedades, especialmente las transmitidas por vectores. No hay estudios que predigan cuando se va a producir El Niño, aunque cada vez sea más frecuente, pero sí hay modelos de calentamiento global, que intentan ver cuál es el futuro para ciertas enfermedades. Por lo tanto, se analizarán a continuación varias...

PREDICCIONES PARA LAS ENFERMEDADES TRANSMISIBLES EN UN CALENTAMIENTO GLOBAL

La enfermedad de Lyme se describió en la ciudad de Lyme (Connecticut, EE.UU.) en 1975, aunque se conocía en Europa desde 1909 como eritema crónico migratorio. Su presencia en EE.UU. fue el determinante de la elucidación de su mecanismo de transmisión. Su agente es una espiroqueta, *Borrelia burgdorferi*, transmitida por garrapatas del género *Ixodes*, y su reservorio son roedores silvestres y el ciervo. En Québec (Canadá) el primer caso de transmisión autóctona se detectó en 2008, que aumentó a 49 en 2013 (los casos importados eran cuatro veces más abundantes). El aumento de la enfermedad de Lyme en esta provincia canadiense se ha relacionado con inviernos con temperaturas más suaves, lo que posibilitó una mayor extensión de *Ixodes scapularis*, la garrapata que la transmite, y de *Peromyscus leucopus*, el ratón de pies blancos, que es su reservorio. Una proyección del incremento de temperatura según la emisión de gases invernadero siguiendo el escenario del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), teniendo en cuenta la densidad de garrapatas y ratones, ha permitido modelar y predecir que para el año 2050, la enfermedad de Lyme progre-

sará hacia el norte de Québec 1.5 grados de latitud, 150 km o, lo que es lo mismo, 3.5 km al año [Simon et al 2014].

Una de las enfermedades más estudiadas es la leishmaniasis. Esta antropozoonosis está producida por protozoos del género *Leishmania*, su reservorio habitual es el perro, aunque otros animales silvestres pueden albergar al parásito de forma asintomática, como las liebres, zarigüeyas y coatíes. En Europa el vector son las moscas de la arena, del género *Phlebotomus*, mientras que en América son palomillas (como se llaman en Colombia), psicóidos, del género *Lutzomyia*. El reservorio habitual en América del Norte son roedores del género *Neotoma*, rata del bosque. Las proyecciones de extensión para el año 2080 en EE.UU. de *Lutzomyia diabolica* supone la propagación de la enfermedad a todo los estados de la mitad este de ese país; lo mismo se puede decir para la rata del bosque [González et al 2010]. En Sudamérica, las palomillas de la arena son algo diferentes, pero pertenecientes al mismo género. *Lutzomyia flaviscutellata* es la más importante, que se alimenta esencialmente de roedores (que son el reservorio), y también de pájaros. De acuerdo con los modelos de calentamiento global es previsible que el psicóido que principalmente transmite *Leishmania amazonensis*, se extienda desde las zonas más cálidas de la cuenca amazónica al centro y sur de Brasil y este de Paraguay, alcanzado altitudes mayores y grandes núcleos de población. Además, se prevé que se extienda a las zonas amazónicas de Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, pero sólo se implantará la leishmaniasis si el vector encuentra roedores que puedan actuar como reservorio de *Leishmania amazonensis* [Carvalho et al 2015].

Otro ejemplo es la dirofilariasis, producida por gusanos nematodos, sobre todo *Dirofilaria immitis* y *D. repens*. La transmiten mosquitos *Culex* y su reservorio pueden ser los perros, gatos y los seres humanos. Es una enfermedad endémica del Mediterráneo, pero a lo largo del siglo XX ha experimentado una rápida expansión hacia el norte y centro de Europa. La mayor parte de los casos que se han comunicado en el mundo en los tiempos recientes han sido en Ucrania y Rusia, y casi todos por *D. repens*. Dado ese incremento se ha realizado una predicción para 2030 para toda la antigua Unión Soviética, utilizando los datos reales entre 1981 y 2011, que puede ser de utilidad para modelar otras enfermedades transmitidas por mosquitos (encefalitis). Se prevé un incremento del territorio afectado del 18.5%, con expansión hacia el norte y este, invadiendo Siberia. En el modelo no se ha tenido en cuenta la intervención de las autoridades sanitarias veterinarias, ya que en las antiguas repúblicas soviéticas hay una gran cantidad de perros callejeros sin control que son el principal reservorio [Kartashev et al 2014].

La extensión de ciertos vectores, con capacidad de transmitir múltiples enfermedades, preocupa ahora más a la comunidad científica que los ejemplos ilustrados con anterioridad. Es el caso del mosquito tigre, *Aedes albopictus*. Tiene una capacidad de volar limitada, de tan solo medio kilómetro, pero sus huevos son resistentes a la sequía durante varios meses. Esto ha posibilitado la introducción de esta especie desde los 1980s desde su nicho ecológico original, las selvas del sudeste asiático, en Australia, indopacífico, América, África y Europa. Los huevos han viajado en neumáticos usados y plantas de bambú. Este mosquito, aparte de su agresividad en la picadura (incluso a través de la ropa), es capaz de transmitir al menos 22 arbovirus, entre los que destacan dengue, chikungunya, Nilo occidental, encefalitis equina oriental, fiebre amarilla, La Crosse, encefalitis japonesa, Potosí, etc. y también la dirofilariasis. Si el mosquito se implanta y llega un caso puede producirse la transmisión autóctona. Varios estudios sugieren que, aparte de la resistencia del mosquito, el calentamiento global no es ajeno a su difusión. De seguir el incremento de temperatura, el mosquito, por su capacidad de adaptación, encontrará nuevos nichos, no ya en las costas, sino en el interior de las zonas continentales [Roiz et al 2011]. En EE.UU. se introdujo en Texas en 1985, procedente de Japón, según un análisis genético. En 2014 se estimaba que había colonizado en ese país todos los estados ribereños del Caribe y Atlántico, hasta el estado de Nueva York (con colonias aisladas en San Francisco, California, y Seattle, Washington). El cambio climático, bajo varias asunciones, predice que el mosquito tigre alcanzará la costa del Pacífico y se implantará en la costa de la Columbia Británica (Canadá), Washington, Oregón y norte de California antes de 2050 y se extenderá entre 500 y 1000 km por los estados del medio oeste estadounidense llegando al Canadá central [Ogden et al 2014].

Una de las enfermedades sobre las que primero se hicieron proyecciones fue el paludismo, por su difusión mundial y por la trascendencia que ha tenido para la salud humana. La visión sobre África para el año 2100 fue especialmente catastrofista, con un aumento espectacular de casos [Tanser et al 2003]. Otra de las grandes amenazas para la humanidad es el dengue, por la cantidad de brotes que ha producido, y la ausencia de tratamiento antiviral y vacuna. Para el año 2085 la expansión de su vector, sobre todo el mosquito *Aedes*, se plantea un horizonte mundial realmente malo, con posible afectación de todos los países de la ribera mediterránea [Hales et al 2002, Bouzid et al 2014]. Las predicciones en zonas más concretas, como el archipiélago de Nueva Caledonia predicen una duplicación del número de casos para el año 2050 [Teurlai et al 2015].

Muchas otras enfermedades transmisibles pueden verse afectadas por el calentamiento global. La rabia es una de ellas. En el ártico el reservorio principal es el isatis (*Vulpes lagopus*) y un aumento de la temperatura provocará que le suceda el zorro rojo (*Vulpes vulpes*), lo que no significa que aumenten los casos [Kim et al 2014.]

Otro grupo son las enfermedades transmitidas por alimentos. Ya se ha comentado la criptosporidiasis. Aparte de este protozoo coccidiano pueden aumentar otros de la misma familia, como *Cyclospora cayetanensis*, *Isospora belli*, virus, como el de la hepatitis A, astrovirus, y calicivirus, protozoos como *Giardia lamblia*, y bacterias, como el género *Shigella* [Diaz et al 2006]. Sobre los anteriores no todos están de acuerdo, pero sí hay mayor coincidencia en que el cambio climático producirá un aumento de las infecciones gastrointestinales producidas por vibrios marinos (*V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus*), *Campylobacter jejuni*, y el género *Salmonella*, con un enorme reservorio animal [Semenza et al 2012].

El cólera es otra de las infecciones que han dado grandes lecciones de salud pública a la humanidad y que diferencia en la actualidad a los ricos de los pobres, con o sin infraestructuras sanitarias. En un trabajo clásico en la revista Science en 1996 se comprobó en las costas de Bangladesh como la supervivencia y viabilidad de *Vibrio cholerae* en el mar se relacionaba con la temperatura del agua, algo nunca descrito antes [Colwell 1996]. Si hay calentamiento hay que presuponer una mayor difusión de vibrios. En 1991 se produjo una epidemia de cólera en la costa de Perú, que se extendió a Ecuador, Chile, Colombia y luego, siguiendo corrientes y ríos a Brasil, Bolivia y Venezuela: más de medio millón de casos y 5000 muertes. De los algas adheridas a los barcos en los puertos de Perú se aisló una cepa de vibrio El Tor, serotipo Inaba, típica de Bangladesh: había viajado como polizón en las algas. Las algas se reproducen más cuando la temperatura del mar se eleva [Epstein et al 1993].

Las posibles perspectivas de algunos de los ejemplos mencionados hacen plantearse la repercusión que puede tener el cambio climático sobre la mortalidad del ser humano en el planeta. Esa aproximación la hicieron Jonathan Patz y cols. en la revista Nature en 2005. Para ellos, dentro de las transmisibles, lo más importante eran las diarreas (47000 muertos al año), seguidas de la malaria (27000), pero juntas no superaban a las muertes por malnutrición (77000). También hicieron una proyección del riesgo de esas enfermedades para el año 2030. En su modelo el riesgo de malaria se eleva mucho más que el de diarrea y prácticamente no modifican el riesgo de malnutrición. No todos coinciden con esta aproximación, pero hay que destacar que sus propios datos indican que la malnutrición es un problema mucho más importante que las transmisibles.

Se han ejemplificado algunas proyecciones de enfermedad basadas en modelos. No obstante, el científico debe ser siempre crítico, aunque confíe en los métodos que usan sus colegas, por lo que es preciso establecer...

LAS LIMITACIONES QUE PRESENTAN LOS ESTUDIOS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD

La primera es que no hay modelos globales de enfermedad. Lo más frecuente es que se analicen las enfermedades una a una y no todas. Hay datos que indican que el calentamiento puede favorecer a una, pero perjudicar a otra. La esquistosomiasis es una de la parasitosis más frecuentes en el mundo y la segunda en África tras el paludismo. Hay varias especies, cada una con su molusco intermediario (o perros, como en el *S. mekongi*). El calor beneficia al gusano trematodo, pero no así a los moluscos. El caracol *Biomphalaria*, huésped intermediario en el desarrollo de *S. mansoni*, prefiere el fresco y la humedad [Stensgaard et al 2013]; mientras que el caracol de *S. haematobium*, *Bulinus*, prefiere la sequía [Githeko et al 2000], por lo que un incremento de la temperatura media tendría un efecto diferencial sobre la extensión de los dos parásitos.

Un segundo aspecto reflejado en la literatura científica es la escasez de estudios científicos sobre propagación y extensión de enfermedades en las zonas frías (Groenlandia, Islandia, Siberia, y el Ártico) bajo la perspectiva de un calentamiento global [Hedlund et al 2014]. Coincide que es donde hay menos población, más dispersa está y hay otros problemas que preocupan más.

La mayoría de los estudios de predicción son estudios ecológicos, cuya unidad de trabajo es el grupo. Los errores posibles de este tipo de diseño son muy conocidos. Entre ellos destaca en primer lugar la colinealidad, esto es, que hay muchas variables que son dependientes del tiempo y varían simultáneamente, y es muy complicado mediante modelos matemáticos identificar a la variable responsable principal. El segundo error es la falacia ecológica, que implica que lo que se observa en el análisis comunitario no se corresponde con lo que realmente se produce en los sujetos individuales [Greenland 1992, English 1996].

No se incluyen variables de 'presión' humana en la mayoría de las predicciones: el uso de la tierra, la deforestación, las migraciones producidas por el calentamiento global, las migraciones por guerras (DAESH, por ej.), los viajes crecientes ('aldea global'), etc.. No obstante, hay excepciones que concluyen que son muy difíciles de

modelar, como lo que puede suceder en el Amazonas, donde las variables de expansión humana por el uso de recursos (deforestación, minería, urbanización, etc.) dificultan extraordinariamente una valoración de la repercusión del calentamiento global [Confalonieri et al 2014].

Los modelos de incremento de temperatura presentan debilidades. El lapso de tiempo con datos científicos serios es muy breve (en comparación con la antigüedad de los seres vivos). Se desconoce si la naturaleza tiene mecanismos de compensación que aminoren una catástrofe; hay muchas variaciones según las asunciones que se hagan, etc. [Neelin et al 2010]. Además, diferentes organizaciones no coinciden en sus asunciones (no ya en las predicciones) de los factores determinantes del cambio climático y sus consecuencias, como son el IPCC, el National Research Council británico y el United States Global Change Research Program [Jaenish y Patz 2002].

Hay también algunos datos que contradicen las predicciones. El calentamiento ya se está produciendo, empezó en el último cuarto del siglo XX. Todas las predicciones han sido fatalistas para el paludismo. Recientemente la OMS ha publicado las cifras mundiales de paludismo para el periodo 2000-2015. Hay que resaltar que el número de casos descendió en el planeta un 18% y que en ninguna región aumentó; en África, que tenía en 2000 un 81% (214 de 262 millones) de todos los casos en el mundo, disminuyó un 12% en 2015 (aunque en ese año sufriera el 88% de todos los casos mundiales). El descenso en mortalidad (que supone una mejora en el tratamiento) ha sido del 48%, y ya tan solo son 438000 [OMS 2016].

Por último no se tiene en cuenta el avance tecnológico: en el uso de energías no contaminantes, desarrollo de nuevas vacunas, control medioambiental de vectores, desarrollo de plantas resistentes a la sequía, etc. Esto puede alterar considerablemente un panorama pesimista.

A la vista de los hechos expuestos se pueden sacar una serie de ...

CONCLUSIONES

Las temperaturas medias están aumentando y cada vez se tienen más alertas sanitarias por enfermedades transmisibles en España (gripe aviar, gripe H1N1, virus SARS, Ébola, Zika, etc.). Además han aumentado los casos por enfermedad de Lyme, y otras enfermedades transmitidas por vectores, pero no de manera alarmista. La realidad es que la repercusión sobre la salud ha sido menor que las muertes por violencia de género que cada año se producen (unas 60).

Al fenómeno de calentamiento global hay que asociar la realidad de la aldea global. El cólera alcanzó Europa en el siglo XIX por la aplicación de la máquina de vapor al barco. Hoy los vectores pueden viajar rápidamente a través de los aviones. Esto complica la situación.

Es esencial el fortalecimiento de los servicios de vigilancia epidemiológica para establecer una respuesta adecuada y pronta [Nichols et al 2014]. No se puede olvidar a la Salud Pública, en la que médicos, veterinarios y otros profesionales trabajan de manera conjunta, aunque parezca que no “haga nada”, frente a los “resultados” inmediatos de la asistencia sanitaria.

No se puede olvidar la gran desigualdad existente en el mundo. Los países desarrollados tienen mecanismos de defensa que acotan la propagación de la enfermedad: una epidemia de 140000 casos de dengue en Costa Rica son unos pocos casos en Francia, el cólera puede matar a miles de personas en Haití y en España tan solo serían unos pocos casos esporádicos, etc. Veo al calentamiento global en su repercusión sobre las enfermedades transmisibles como un problema de desarrollo y esto supone que los países ricos (a pesar de la crisis) deben ayudar a los que no tienen infraestructuras. No sería filantropía, más bien egoísmo, así los ricos protegerían su salud a la par que mejoran la de los menos favorecidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Angelini R, Finarelli AC, Angelini P, Po C, Petropulacos K, Silvi G, Macini P, Fortuna C, Venturi G, Magurano F, Fiorentini C, Marchi A, Benedetti E, Bucci P, Boros S, Romi R, Majori G, Ciufolini MG, Nicoletti L, Rezza G, Cassone A (2007). Chikungunya in north-eastern Italy: a summing up of the outbreak. *Euro Surveill* 12:pii=3313.
- Bell ML, Davis DL, Fletcher T (2004). A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution. *Environ Health Perspect* 112:6-8.
- Bouzig M, Colón-González FJ, Lung T, Lake IR, Hunter PR (2014). Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever. *BMC Public Health* 14:781.
- Carvalho BM, Rangel EF, Ready PD, Vale MM (2015). Ecological Niche Modelling Predicts Southward Expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of *Leishmania amazonensis* in South America, under Climate Change. *PLoS One* 10:e0143282.
- Chapman LE, Khabbaz RF (1994). Etiology and epidemiology of the Four Corners hantavirus outbreak. *Infect Agents Dis* 3:234-44.
- Chipperfield MP, Dhomse SS, Feng W, McKenzie RL, Velders GJ, Pyle JA (2015). Quantifying the ozone and ultraviolet benefits already achieved by the Montreal Protocol. *Nat Commun* 6:7233.
- Colwell RR (1996). Global climate and infectious disease: the cholera paradigm. *Science* 274:2025-31
- Confalonieri UE, Margonari C, Quintão AF (2014). Environmental change and the dynamics of parasitic diseases in the Amazon. *Acta Trop* 129:33-41.

- D'Amato G, Vitale C, Lanza M, Molino A, D'Amato M (2016). Climate change, air pollution, and allergic respiratory diseases: an update. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 16:434-40.
- Díaz JH (2006). Global Climate Changes, Natural Disasters, and Travel Health Risks. *J Travel Med* 13:361-72.
- Dutt AK, Akhtar R, McVeigh M (2006). Surat plague of 1994 re-examined. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 37:755-60.
- Eisenberg JN, Lei X, Hubbard AH, Brookhart MA, Colford JM Jr (2005). The role of disease transmission and conferred immunity in outbreaks: analysis of the 1993 *Cryptosporidium* outbreak in Milwaukee, Wisconsin. *Am J Epidemiol* 161: 62-72.
- Engelthaler DM, Mosley DG, Cheek JE, Levy CE, Komatsu KK, Ettestad P, Davis T, Tanda DT, Miller L, Frampton JW, Porter R, Bryan RT (1999). Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerg Infect Dis* 5: 87-94.
- English D (1996). Geographical epidemiology and ecological studies. En: P Elliott, J Cuzick, D English y R. Stern. *Geographical & Environmental Epidemiology*. Oxford: Oxford University Press, 1996: 3-13.
- Einstein PR, Ford TE, Colwell RR (1993). Marine ecosystems. *Lancet* 342: 1216-9.
- Ewart GW, Rom WN, Braman SS, Pinkerton KE (2015). From closing the atmospheric ozone hole to reducing climate change. Lessons learned. *Ann Am Thorac Soc* 12:247-51.
- Ferreira MC (2014). Geographical distribution of the association between El Niño South Oscillation and dengue fever in the Americas: a continental analysis using geographical information system-based techniques. *Geospat Health* 9(1):141-51.
- Fox KR, Lytle DA (1996). Milwaukee's crypto outbreak: investigation and recommendations. *J Am Water Works Assoc* 88:87-94.
- Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE, Patz JA (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bull World Health Organ* 78:1136-47.
- González C, Wang O, Strutz SE, González-Salazar C, Sánchez-Cordero V, Sarkar S (2010). Climate change and risk of leishmaniasis in north america: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *PLoS Negl Trop Dis* 4:e585.
- Greenland S (1992). Divergent biases in ecologic and individual-level studies. *Stat Med* 11:1209-23.
- Haines A, Patz JA (2004). Health effects of climate change. *JAMA* 291:99-103.
- Hales S, de Wet N, Maindonald J, Woodward A (2002). Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet* 360:830-4.
- Hedlund C, Blomstedt Y, Schumann B (2014). Association of climatic factors with infectious diseases in the Arctic and subarctic region—a systematic review. *Glob Health Action* 7:24161.
- Hjelle B, Glass GE (2000). Outbreak of hantavirus infection in the Four Corners region of the United States in the wake of the 1997-1998 El Niño-southern oscillation. *J Infect Dis* 181:1569-73.
- Jaenisch T, Patz J (2002). Assessment of associations between climate and infectious diseases a comparison of the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the National Research Council (NRC), and United States Global Change Research Program (USGCRP). *Global Change & Human Health* 3: 67-72.
- Kartashev V, Afonin A, González-Miguel J, Sepúlveda R, Simón L, Morchón R, Simón F (2014). Regional warming and emerging vector-borne zoonotic dirofilariosis in the Russian Federation, Ukraine, and other post-Soviet states from 1981 to 2011 and projection by 2030. *Biomed Res Int* 2014:858936.
- Kim BI, Blanton JD, Gilbert A, Castrodale L, Hueffer K, Slate D, Rupprecht CE (2014). A conceptual model for the impact of climate change on fox rabies in Alaska, 1980-2010. *Zoonoses Public Health* 61:72-80.

- MacKenzie WR, Hoxie NJ, Proctor ME, Stephen Gradus, Kathleen A. Blair, Dan E. Peterson, James J. Kazmierczak, David G. Addiss, Kim R. Fox, Joan B. Rose, and Jeffrey P. Davis (1994). A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *N Engl J Med* 331:161-7.
- Manney GL, Santee ML, Rex M, Livesey NJ, Pitts MC, Veefkind P, Nash ER, Wohltmann I, Lehmann R, Froidevaux L, Poole LR, Schoeberl MR, Haffner DP, Davies J, Dorokhov V, Gernandt H, Johnson B, Kivi R, Kyrö E, Larsen N, Levelt PF, Makshtas A, McElroy CT, Nakajima H, Parrondo MC, Tarasick DW, von der Gathen P, Walker KA, Zinoviev NS (2011). Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature* 478(7370):469-75.
- McCarthy J, Canziani O, Leary N, Kokken D, White K. *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability*. New York: Cambridge University Press, 2001.
- McMichael AJ (2012). Insights from past millennia into climatic impacts on human health and survival. *Proc Natl Acad Sci USA* 109:4730-7.
- McMichael AJ (2015). Extreme weather events and infectious disease outbreaks. *Virulence* 6:6, 543-547.
- McNeill WH. *Plagues and Peoples*. Garden City (NY): Anchor Press, 1976.
- Neelin JD, Bracco A, Luo H, McWilliams JC, Meyerson JE (2010). Considerations for parameter optimization and sensitivity in climate models. *Proc Natl Acad Sci USA* 107:21349-54.
- Ogden NH, Milka R, Caminade C, Gachon P (2014). Recent and projected future climatic suitability of North America for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*. *Parasit Vectors* 7:532.
- OMS. Informe mundial 2015 sobre el paludismo. WHO, 2016, en <http://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2015/report/es/>, consultada el 20-IX-2016.
- Quintero-Herrera LL, Ramírez-Jaramillo V, Bernal-Gutiérrez S, Cárdenas-Giraldo EV, Guerrero-Matituy EA, Molina-Delgado AH, Montoya-Arias CP, Rico-Gallego JA, Herrera-Giraldo AC, Botero-Franco S, Rodríguez-Morales AJ (2015). Potential impact of climatic variability on the epidemiology of dengue in Risaralda, Colombia, 2010-2011. *J Infect Public Health* 8:291-7.
- Patz JA, Campbell-Lendrum D, Holloway T, Foley JA (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438(7066):310-7.
- Patz JA, Engelberg D, Last J (2000). The effects of changing weather on public health. *Annu Rev Public Health* 21:271-307.
- Patz JA, Frumkin H, Holloway T, Vimont DJ, Haines A (2014). Climate change: challenges and opportunities for global health. *JAMA* 312:1565-80.
- Patz JA, Grabow ML, Limaye VS (2014). When it rains, it pours: future climate extremes and health. *Ann Glob Health* 80:332-44.
- Rezza G, Nicoletti L, Angelini R, Romi R, Finarelli AC, Panning M, Cordioli P, Fortuna C, Boros S, Magurano F, Silvi G, Angelini P, Dottori M, Ciufolini MG, Majori GC, Cassone A; CHIKV study group (2007). Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *Lancet* 370:1840-6.
- Roehrig JT (2013). West nile virus in the United States - a historical perspective. *Viruses* 5(12):3088-108.
- Roiz D, Boussès P, Simard F, Paupy C, Fontenille D (2015). Autochthonous chikungunya transmission and extreme climate events in southern France. *PLoS Negl Trop Dis* 9:e0003854.
- Roiz D, Neteler M, Castellani C, Arnoldi D, Rizzoli A (2011). Climatic factors driving invasion of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) into new areas of Trentino, northern Italy. *PLoS One* 6:e14800.
- Semenza JC, Herbst S, Rechenburg A, Suk JE, Höser C, Schreiber C, Kistemann T (2012). Climate change impact assessment of food- and waterborne diseases. *Crit Rev Environ Sci Technol* 42:857-890.
- Simon JA, Marrotte RR, Desrosiers N, Fiset J, Gaitan J, Gonzalez A, Koffi JK, Lapointe FJ, Leighton PA, Lindsay LR, Logan T, Milord F, Ogden NH, Rogic A, Roy-Dufresne E, Suter D, Tessier N,

- Millien V (2014). Climate change and habitat fragmentation drive the occurrence of *Borrelia burgdorferi*, the agent of Lyme disease, at the northeastern limit of its distribution. *Ecol Appl* 7:750-64.
- Solomon S, Haskins J, Ivy DJ, Min F (2014). Fundamental differences between Arctic and Antarctic ozone depletion. *Proc Natl Acad Sci USA* 29;111:6220-5.
- Stensgaard AS, Utzinger J, Vounatsou P, Hürlimann E, Schur N, Saarnak CF, Simoonga C, Mubita P, Kabatereine NB, Tchuem Tchuenté LA, Rahbek C, Kristensen TK (2013). Large-scale determinants of intestinal schistosomiasis and intermediate host snail distribution across Africa: does climate matter? *Acta Trop* 128: 378-90.
- Tanser FC, Sharp B, le Sueur D (2003). Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *Lancet* 362:1792-8.
- Teurlai M, Menkès CE, Cavarero V, Degallier N, Descloux E, Grangeon JP, Guillaumot L, Libourel T, Lucio PS, Mathieu-Daudé F, Mangeas M (2015). Socio-economic and climate factors associated with dengue fever spatial heterogeneity: a worked example in New Caledonia. *PLoS Negl Trop Dis* 9:e0004211.
- Wigley TML (1999). *The Science of Climate Change: Global and U.S. Perspectives*. Arlington, VA: Pew Century Global Climate Change.