

# El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional

---

por Andrew K. Githeko<sup>1</sup>, Steve W. Lindsay<sup>2</sup>,  
Ulisses E. Confalonieri<sup>3</sup> y Jonathan A. Patz<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Principal Research Officer, Head, Climate and Human Health Research Unit, Centre for Vector Biology and Control Research, Kenya Medical Research Institute, PO Box 1578, Kisumu, Kenya  
e-mail: [AGitheko@kisian.mimcom.net](mailto:AGitheko@kisian.mimcom.net)

<sup>2</sup> Reader, Department of Biological Sciences, University of Durham, Durham, England

<sup>3</sup> Professor, National School of Public Health, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>4</sup> Assistant Professor and Director, Program on Health Effects of Global Environmental Change, Department of Environmental Health Sciences, Johns Hopkins School of Public Health, Baltimore, MD, USA

Artículo publicado en inglés en el *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78 (9): 1136–1147

## Resumen

*Se estima que en 2100 la temperatura mundial habrá aumentado como promedio 1,0-3,5°C, con lo que aumentará también el riesgo de enfermedades transmitidas por vectores en nuevas zonas. El mayor efecto del cambio climático en ese sentido se observará probablemente en los extremos del intervalo de temperaturas requerido para la transmisión (para muchas enfermedades, 14-18°C como límite inferior, y 35-40°C como límite superior). El paludismo y la fiebre del dengue figuran entre las enfermedades transmitidas por vectores más importantes en los trópicos y subtropicos; la enfermedad de Lyme es la más común de estas dolencias en los Estados Unidos y Europa. También la encefalitis se está convirtiendo en un problema de salud pública. Los riesgos del cambio climático para la salud no serán los mismos en los países que cuentan con una infraestructura sanitaria que en aquellos que no la poseen.*

## Abstract

*It is estimated that in 2100 the world temperature will increase an average of 1,0-3,5°C, increasing also the risk of diseases transmitted by vectors in new zones. The major effect of climate change in this sense will be observed probably at the extremes of the temperature range necessary for its transmission (for many diseases, 14-18°C as the lower limit, and 35-40°C as then upper limit). Malaria and dengue are among the diseases transmitted by the most important vectors in the tropics and subtropics; Lyme's disease is the most common of these ailments in the United States and Europe. Encephalitis is turning into a problem of public health. Climate change risks will not be the same in countries with sanitary infrastructure that in those that do not possess it.*

**Palabras clave.-** Ecología de vectores, incubación extrínseca, esquistosomiasis, oncocercosis, tripanosomiasis, filariasis, leishmaniasis, fiebre del Valle del Rift, cloroquina, infecciones víricas.

**Keywords.-** Ecology of vectors, extrinsic incubation, schistosomiasis, onchocerciasis, trypanosomiasis, filariasis, leishmaniasis, Rift Valley Fever, chloroquine, viral infections.

---

## Introducción

La vida humana depende de la dinámica del sistema climático de la Tierra. Las interacciones entre la atmósfera, los océanos, las biosferas terrestre y marina, la criosfera y la superficie terrestre determinan el clima de la superficie del planeta<sup>1</sup>. La concentración atmosférica de gases de efecto invernadero -dióxido de carbono, metano y óxido nitroso- está aumentando debido principalmente a actividades humanas como el uso de combustibles fósiles, el cambio de uso de la tierra y la agricultura<sup>2</sup>. El aumento de los gases de

efecto invernadero provoca el recalentamiento de la atmósfera y de la superficie terrestre.

En este artículo se analizan las indicaciones de los efectos que ha tenido y tiene la variabilidad climática interanual e interdecenal sobre las enfermedades transmitidas por vectores en los distintos continentes, con la finalidad de arrojar alguna luz sobre las tendencias que podrán manifestarse en el futuro, particularmente en vista del cada vez más probable cambio climático.

Se estima que en 2100 la temperatura mundial habrá aumentado en promedio de 1,0 a 3,5°C<sup>3</sup>, con lo que aumentará también el riesgo de sufrir numerosas enfermedades transmitidas por vectores. Los cambios temporales y espaciales de las temperaturas, las precipitaciones y la humedad que, según las previsiones, tendrán lugar según los diferentes escenarios del cambio climático, afectarán a la biología y ecología de los vectores y los huéspedes intermedios y, por consiguiente, al riesgo de transmisión de enfermedades. El riesgo aumenta porque, aunque los artrópodos pueden regular su temperatura interna modificando su comportamiento, no pueden hacerlo fisiológicamente y, por lo tanto, dependen totalmente del clima para su supervivencia y desarrollo<sup>4</sup>. El clima, la ecología de los vectores y la economía social varían de un continente a otro y ello hace necesario un análisis regional.

El mayor efecto del cambio climático sobre la transmisión de enfermedades se observará probablemente en los extremos del intervalo de temperaturas requerido para la transmisión (para muchas enfermedades, 14-18°C como límite inferior y 35-40°C como límite superior). El calentamiento en el intervalo inferior tiene repercusiones significativas y no lineales sobre el periodo de incubación extrínseca<sup>5</sup> y, por consiguiente, en la transmisión de enfermedades, mientras que en el límite superior se podría interrumpir la transmisión. Sin embargo, en torno a los 30-32°C, la capacidad vectorial puede aumentar notablemente debido a la reducción del periodo de incubación extrínseca, a pesar de que disminuye la tasa de supervivencia del vector. Especies de mosquitos como el conjunto *Anopheles gambiae*, *A. funestus*, *A. darlingi*, *Culex quinquefasciatus* y *Aedes aegypti* son responsables de la transmisión de la mayoría de las enfermedades transmitidas por vectores y son sensibles a los cambios de temperatura tanto en las fases inmaduras en el medio acuático como en su estado adulto. Cuando aumenta la temperatura del agua, las larvas tardan menos tiempo en madurar<sup>6</sup> y, en consecuencia, se puede producir un mayor número de crías durante el periodo de transmisión. En los climas más cálidos, las hembras de mosquito adultas digieren la sangre más rápidamente y se alimentan con mayor frecuen-

cia<sup>7</sup>, y debido a ello aumenta la intensidad de transmisión. De igual forma, a mayor temperatura los parásitos y los virus causantes del paludismo completan la incubación extrínseca en el interior del mosquito hembra en menos tiempo<sup>8</sup>, aumentando así la proporción de vectores infecciosos. Por lo general, una temperatura por encima de los 34°C tiene efectos negativos sobre la supervivencia de los vectores y parásitos<sup>6</sup>.

Además de la influencia directa de la temperatura sobre la biología de los vectores y parásitos, la modificación del régimen de precipitaciones puede tener también efectos a corto y largo plazo sobre los hábitats de los vectores. El aumento de las precipitaciones puede incrementar el número y calidad de criaderos de vectores tales como mosquitos, garrapatas y caracoles, así como la densidad de vegetación, influyendo en la existencia de lugares donde posarse. Los reservorios de enfermedades en los roedores pueden aumentar cuando la disponibilidad de abrigo adecuado y de comida hacen crecer las poblaciones, lo que a su vez desencadena brotes de enfermedad. También las formas de asentamiento humano influyen en las tendencias de las enfermedades. En América del Sur, más del 70% de la población vive en zonas urbanas y, por tanto, sólo una proporción reducida de ella está expuesta a infecciones rurales. En África, en cambio, más del 70% de la población vive en zonas rurales, donde la lucha antivectorial, p. ej., la eliminación de los criaderos de larvas, es muchas veces difícil. La fiebre del dengue es básicamente una enfermedad urbana, no obstante, y tendrá mayor incidencia en las comunidades muy urbanizadas con un sistema deficiente de eliminación de aguas residuales y desechos sólidos.

En las publicaciones recientes puede encontrarse una serie de exámenes de determinadas enfermedades. En este documento se presenta una perspectiva regional, intentando reflejar los hechos esenciales que se han observado en diferentes variaciones climáticas y los que se prevén como resultado del cambio climático.

## África

El clima africano tropical favorece la mayor parte de las enfermedades transmitidas por vectores, entre ellas el paludismo, la esquistosomiasis, la oncocercosis, la tripanosomiasis, la filariasis, la leishmaniasis, la peste, la fiebre del Valle del Rift, la fiebre amarilla y las fiebres hemorrágicas transmitidas por garrapatas. Este continente posee una gran diversidad de complejos de especies de vectores que tienen la posibilidad de redistribuirse a nuevos hábitats creados por efecto del clima, determinando nuevas características epidemiológicas. Estos organismos tienen sensibilidades diferentes a la temperatura y las precipitaciones.

Se calcula que para 2050 el Sahara y las zonas semiáridas del África meridional podrían experimentar un aumento medio de la temperatura de 1,6°C, y países ecuatoriales como el Camerún, Kenya y Uganda incrementos de 1,4°C<sup>3</sup>. Los estudios realizados recientemente sobre el promedio de precipitaciones superficiales durante el periodo 1901-1995 indican que las tendencias de las precipitaciones varían a lo largo y ancho del continente. Parecen estar aumentando en el África oriental y disminuyendo en las zonas occidental y septentrional<sup>9</sup>. Sin embargo, éstos son datos muy generales y es posible que las tendencias tengan poca validez a una escala más local.

El cambio climático tendrá efectos a corto y largo plazo sobre la transmisión de las enfermedades. Por ejemplo, un aumento de las temperaturas y las precipitaciones a corto plazo como el que ocurrió durante el fenómeno El Niño de 1997-1998 -un ejemplo de variabilidad climática interanual- provocó epidemias de paludismo causadas por *Plasmodium falciparum*<sup>10</sup> y fiebre del Valle del Rift<sup>11</sup> en Kenya. Ello pudo deberse al desarrollo acelerado de los parásitos y a la explosión de las poblaciones de vectores. Sin embargo, esos mismos cambios redujeron la transmisión del paludismo en la República Unida de Tanzania<sup>12</sup>. Existen nuevas pruebas de que además de producirse fenómenos climáticos extremos estacionales se está registrando una elevación general de las temperaturas medias y, en algunos casos, de las precipitaciones<sup>9</sup>. Por ejemplo, durante el periodo 1901-1995, el índice

medio de variación de la temperatura en África fue de 0,39°C. Aunque las precipitaciones se han reducido en muchas partes del continente, se ha registrado un incremento medio de 300 mm en el África oriental a lo largo del siglo. Probablemente, esos cambios comportarán un rápido desarrollo de los vectores y parásitos del paludismo en regiones donde hasta ahora las bajas temperaturas han limitado la transmisión. Por otra parte, el aumento de las temperaturas tendrá efectos negativos en el límite superior del intervalo de temperaturas de los vectores del paludismo. Los efectos negativos de la reducción de las precipitaciones y de la sequía se han dejado sentir en el Senegal, donde ha desaparecido prácticamente *A. funestus* y la prevalencia del paludismo ha disminuido más de un 60% durante los últimos 30 años<sup>13</sup>.

En África, las especies de vectores se han adaptado a ecosistemas que van desde los bosques húmedos hasta las sabanas secas. Si se modifican estos ecosistemas también cambiará la distribución de las especies de vectores. Por ejemplo, entre los vectores de la tripanosomiasis, aunque *Glossina morsitans* habita principalmente en la sabana, *G. palpalis* es una especie ribereña que prefiere posarse en una vegetación densa. Los factores que modifican los lugares en los que se posan las moscas tsetse, como los cambios a largo plazo en las precipitaciones, pueden afectar a la epidemiología y la transmisión de la tripanosomiasis, aunque el cambio de la vegetación es un proceso lento. *Anopheles gambiae* prefiere las zonas acuáticas y húmedas, en tanto que *A. arabiensis* se ha adaptado a climas más secos<sup>14</sup>. La distribución y abundancia relativa de estas especies se puede predecir con bastante precisión con los modelos climáticos actuales<sup>15</sup>, que se pueden utilizar para indicar cambios futuros en la distribución de los vectores relacionados con el cambio climático. En el Senegal, los caracoles *Biomphalaria pfeifferi* transmiten *Schistosoma mansoni* durante la estación lluviosa, y *Bulinus globosus* es responsable de la transmisión de *S. haematobium* en la estación seca<sup>16</sup>. En la República Unida de Tanzania, el régimen de precipitaciones tiene una influencia directa en la densidad de población de *B. globosus*<sup>17</sup>. Además, utilizando datos recogidos en Zimbabwe, se ha elaborado un modelo de simulación

que genera fluctuaciones de *B. globosus* según las precipitaciones anuales variables en un margen de dos órdenes de magnitud y en una escala temporal de diez años o más<sup>18</sup>. Cabe pensar, pues, que los cambios en las precipitaciones a largo plazo alterarán la distribución de los caracoles y, consiguientemente, la evolución de la enfermedad.

Las estrategias de adaptación al cambio climático, como el riego, pueden aumentar el riesgo de transmisión del paludismo<sup>19</sup> y la esquistosomiasis<sup>20</sup>.

Factores tales como la economía social, un comportamiento orientado a la salud, la situación geográfica y el crecimiento demográfico determinarán la vulnerabilidad de las poblaciones al cambio climático. Por ejemplo, con la excepción de Sudáfrica, muchos de los países afectados por el paludismo de tierras altas, como Etiopía, Kenya, Madagascar, la República Unida de Tanzania, Rwanda, Uganda y Zimbabwe, tienen un producto interno bruto per cápita de entre US\$ 106,8 y US\$ 505,5, y en muchos de ellos el crecimiento de la renta es negativo<sup>21</sup>. Esto puede indicar que los recursos asignados para la salud son escasos a nivel institucional e individual. Además, la cloroquina, que durante muchos decenios ha sido el fármaco principal utilizado en el tratamiento del paludismo, ha demostrado ser ineficaz en muchas zonas del mundo, particularmente en el caso del paludismo falciparum. Se han desarrollado otros fármacos, pero en muchos casos resultan menos seguros y son de un 50% a un 700% más costosos que la cloroquina<sup>22</sup>. En muchos de los países más pobres, más del 60% de los casos de paludismo se tratan a domicilio<sup>23</sup>, lo que a menudo se traduce en fallos del tratamiento debido a la resistencia a los medicamentos, particularmente entre las poblaciones no inmunes.

La destrucción de los bosques para crear nuevos asentamientos humanos puede aumentar la temperatura local en 3 ó 4°C<sup>24</sup> y al mismo tiempo originar criaderos para los vectores del paludismo. Estos fenómenos pueden tener graves consecuencias sobre la transmisión del paludismo en las tierras altas africanas.

En las latitudes ecuatoriales, p. ej., las tierras altas del África oriental, la transmisión del paludismo puede ser más intensa en las altitudes más elevadas<sup>25</sup>, donde la inmunidad de la población es baja. En latitudes más bajas del África meridional, la transmisión puede aumentar por encima de los 1200 m. Los fenómenos meteorológicos extremos que provocan inundaciones intensifican la transmisión del paludismo del desierto y de la fiebre del Valle del Rift<sup>26</sup>. Desde 1988, existen numerosos informes de epidemias de paludismo en el África oriental y meridional. Por ejemplo, se han propagado epidemias de paludismo de 3 a 13 distritos de Kenya occidental, y en algunas zonas se producen brotes todos los años<sup>27</sup>. Durante este periodo, la temperatura media mensual ha aumentado en la región en 2°C en promedio, entre las coordenadas 2° N–2° S y 30° E–40° E (A. K. Githeko, datos inéditos, 1999). Se han notificado otras epidemias de paludismo relacionadas con el clima en Rwanda<sup>28</sup> y la República Unida de Tanzania<sup>29</sup>. En Kenya occidental, la temperatura media mensual a 2000 metros de altura ha alcanzado los 18°C, que es la temperatura umbral para la transmisión de *P. falciparum*. Teóricamente, un mayor calentamiento debería afectar a las zonas del África oriental situadas por encima de los 2000 metros.

Probablemente, la variabilidad climática existente en África intensificará la transmisión del paludismo en las tierras altas orientales y meridionales, pero no se conocen todavía con precisión sus efectos sobre la transmisión de otras enfermedades transmitidas por vectores menos sensibles al clima.

Si bien el clima es un factor importante en la epidemiología del paludismo, la resistencia a los medicamentos, el poder adquisitivo reducido y una mala infraestructura sanitaria pueden tener más importancia, pues son los instrumentos y recursos que permiten reducir los efectos de la enfermedad. Además, mientras que el clima afecta principalmente a las tierras altas, la resistencia a los fármacos afecta a todas las zonas por igual.

## Europa

Europa se ha recalentado 0,8°C durante los últimos 100 años<sup>2</sup>. Los cambios no han sido uniformes, pues el mayor aumento de la temperatura se ha producido en invierno y en el norte. De continuar esta tendencia, es probable que se reduzca la elevada mortalidad de vectores durante el periodo invernal y que otras zonas sean propensas a la transmisión de enfermedades. Es más difícil predecir los cambios que experimentará el régimen de precipitaciones, aunque probablemente los inviernos serán más húmedos y los veranos más secos. Todo parece indicar que las regiones septentrionales serán más lluviosas y que el tiempo será más seco en el sur y el este del continente<sup>2</sup>. No es fácil predecir las consecuencias de esos cambios. Por ejemplo, es posible que en las zonas donde disminuyan las precipitaciones y se sequen los humedales haya menos criaderos de mosquitos. Sin embargo, la disminución de las poblaciones de mosquitos se compensará en parte si éstas encuentran nuevos lugares de reproducción, como las aguas estancadas que quedarán al secarse el lecho de las corrientes de agua o los depósitos de agua utilizados por los horticultores para conservar el agua de lluvia.

En Europa y en algunos de los países de la ex Unión Soviética, las enfermedades transmitidas por vectores más importantes son el paludismo y la enfermedad de Lyme, que son transmitidas por mosquitos y garrapatas, respectivamente. No existen datos fehacientes que indiquen que el cambio climático haya aumentado el riesgo de padecer estas enfermedades, porque hasta la fecha las alteraciones climáticas han sido bastante leves y porque los grandes cambios ambientales producidos por el aumento de las poblaciones, la modificación de los sistemas de cultivo y las nuevas condiciones socioeconómicas han tenido consecuencias de gran envergadura. No existe, sin embargo, motivo para el optimismo, pues es posible que aumenten y se extiendan muchas enfermedades transmitidas por vectores en numerosas zonas del continente.

En otro tiempo, el paludismo era una enfermedad común en muchas partes de Europa<sup>30,31</sup> y se extendía hasta zonas situadas muy al norte, casi en el círculo

polar ártico<sup>32</sup>, aunque era más común en la margen septentrional de la cuenca del Mediterráneo y en el este de la Europa continental. Se han registrado brotes recurrentes de paludismo en Europa oriental, en Armenia, Azerbaiyán, Tayikistán y Turquía<sup>33</sup>. Sin embargo, ninguno de esos brotes ha estado asociado con el cambio climático, sino con el deterioro de las condiciones socioeconómicas, los sistemas de riego en la agricultura, el desplazamiento de personas infectadas y la interrupción de las actividades de lucha contra el paludismo.

En Europa occidental, es posible la transmisión local del paludismo, pero probablemente quedará circunscrito a un número reducido de personas y será de carácter esporádico. En Italia, donde el paludismo fue erradicado hace 40 años, se ha registrado recientemente una transmisión local del paludismo vivax<sup>34,35</sup>. El clima reinante en Europa occidental es más propicio para la transmisión del paludismo vivax, causado por un parásito más benigno que el del paludismo falciparum, frecuentemente mortal, principalmente porque puede desarrollarse más rápidamente a temperaturas más bajas<sup>36</sup>. La dinámica de la transmisión se complica por el hecho de que los vectores pueden transmitir únicamente determinadas cepas de un parásito. Por ejemplo, el vector *Anopheles atroparvus* es refractario a las cepas tropicales del paludismo falciparum<sup>37-39</sup>, pero no a las europeas<sup>40,41</sup>. Es posible que el cambio climático contribuya a la expansión de la enfermedad hacia latitudes septentrionales<sup>42</sup>. Sin embargo, en los estados recientemente independizados de Europa oriental tienen mucha más importancia la pobreza creciente, el movimiento masivo de refugiados y personas desplazadas y el deterioro de los sistemas sanitarios, factores todos ellos que contribuyen a un aumento del paludismo.

En Europa se registran brotes esporádicos de paludismo cuando se introducen mosquitos infectados procedentes de los trópicos a través del tráfico aéreo. Desde 1969, se han notificado 60 casos en varios países europeos<sup>43</sup>. Un problema mucho más grave es el número creciente de pacientes que contraen el paludismo en el extranjero. En el Reino Unido se producen alrededor de 2000 casos todos los años (D. Warhurst, comunicación personal). Esto es especial-

mente preocupante debido a la rápida difusión de cepas de parásitos resistentes a distintos medicamentos; la aparición de casos de paludismo para los que no exista tratamiento es una posibilidad real.

A medida que el clima se hace más cálido, muchos vectores -no únicamente los transmisores del paludismo- ampliarán probablemente su distribución en Europa y es posible que se introduzcan nuevas especies de vectores procedentes de los trópicos. Un vector importante de la fiebre del dengue, *Aedes albopictus*, se ha propagado por 22 provincias del norte de Italia desde que se introdujo hace ocho años<sup>44</sup>. Los arbovirus transmitidos por mosquitos pueden causar una gran morbilidad y mortalidad en Europa<sup>45</sup>. El virus del Nilo occidental causó brotes en Francia en el decenio de 1960 y en Rumania en 1996. Se han registrado también brotes de la enfermedad del virus Sindbis en el norte de Europa durante los dos últimos decenios y se han notificado muchas otras infecciones víricas. Es extremadamente difícil predecir cuándo y dónde se producirán esos brotes, pero es posible establecer cuáles son las zonas propensas si se puede determinar y cartografiar el medio climático en el que vive el vector<sup>46</sup>.

La distribución de las garrapatas también está estrechamente vinculada con el clima; de ahí la creciente preocupación por la posibilidad de que las enfermedades transmitidas por ellas, como la enfermedad de Lyme y una forma de encefalitis estén aumentando en la Europa del norte<sup>47</sup>. Aunque las garrapatas hembras adultas están con gran frecuencia infectadas, son las ninfas, más abundantes, la principal fuente de infección. Las larvas y las ninfas de garrapatas se alimentan en pequeños vertebrados, como ratones y aves, en tanto que los adultos lo hacen en huéspedes de mayor tamaño, como ciervos y bovinos<sup>48</sup>. En tanto que los inviernos más suaves reducirán la mortalidad de las garrapatas y de los huéspedes y ampliarán el periodo de actividad de aquéllas, los veranos secos aumentarán su mortalidad. Existen pruebas recientes de que el desplazamiento hacia el norte de la garrapata *Ixodes ricinus* en Suecia estuvo relacionado con el clima más suave que reinó en los años noventa<sup>49</sup>. Sin embargo, es preciso adoptar una posición de cautela,

pues también podría guardar relación con la mayor abundancia de huéspedes, como el corzo.

La leishmaniasis es endémica en muchas partes del sur de Europa y constituye una coinfección importante de la que produce el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Desde 1990, se han notificado 1616 coinfecciones, la mayoría en España, el sur de Francia e Italia<sup>50</sup>. A medida que el clima se hace más cálido, los vectores flebótomos transmisores de la leishmaniasis tienden a proliferar con mayor intensidad y a propagarse hacia el norte. Los veranos prolongados y cálidos son también idóneos para otro tipo de moscas y es posible que aumenten los casos de diarrea transmitidos por la mosca doméstica, *Musca domestica*, y otras especies de moscas sinantrópicas.

Aunque en Europa occidental se han observado brotes ocasionales de paludismo, enfermedad de Lyme y leishmaniasis, la existencia de unos sistemas de vigilancia y una infraestructura sanitaria adecuados impedirán que se produzcan brotes en gran escala. La situación puede ser distinta en algunos países de Europa oriental. Además, el deterioro de la economía y los disturbios civiles pueden crear las condiciones favorables para que se produzcan brotes de enfermedades.

## América del Sur

En América del Sur, el paludismo, la leishmaniasis, el dengue, la enfermedad de Chagas y la esquistosomiasis son las principales enfermedades de transmisión vectorial sensibles al clima en lo que respecta al número de personas afectadas. En la tabla 1 se indica el número de casos de esas enfermedades notificados a la Organización Panamericana de la Salud en 1996<sup>51</sup>.

En los últimos años, el número de nuevos casos de leishmaniasis cutánea ha ido desde 250 por año en Bolivia (1975-1991) a 24 600 en el Brasil (1992), y en 1992 hubo alrededor de 9200 casos de oncocercosis en varios países, entre ellos Colombia, Guatemala y Venezuela<sup>52</sup>.

Otras enfermedades de transmisión vectorial, de las que se dan pocos casos cada año y que pueden ser sensibles al cambio climático, son la fiebre amarilla (522 casos en 1995), la peste (55 casos en 1996), la encefalitis equina de Venezuela (25'546 casos en 1995) y otras infecciones arbovirales<sup>51</sup>. Hasta 1991, sólo en la región de la Amazonia brasileña se aislaron 183 tipos distintos de arbovirus, y se sabe que 34 de ellos causan enfermedades humanas, a veces en forma de epidemias virulentas. Una de ellas, la fiebre de Oropouche, se produce en ciclos asociados con el comienzo de la estación lluviosa<sup>53</sup>.

En América del Sur, el paludismo es la más extendida y grave de las enfermedades de transmisión vectorial sensibles al clima. Los estudios realizados han puesto de manifiesto que unas condiciones desusadamente secas (por ejemplo las provocadas por el tiempo relacionado con el fenómeno El Niño/Oscilación Austral en la zona norte del continente) van acompañadas o seguidas de un aumento de la incidencia de la enfermedad. Este hecho se ha documentado en Colombia<sup>54, 55</sup> y Venezuela<sup>56</sup>.

Las observaciones preliminares efectuadas en el norte del Brasil indicaron una tendencia a la disminución de la prevalencia del paludismo durante el primer año de El Niño/Oscilación Austral (0) (condiciones de sequía), en el que desaparecieron los máximos estacionales habituales de paludismo. La enfermedad tendió a recuperar su nivel endémico y epidémico anterior al finalizar el segundo año de El Niño/Oscilación Austral (+1), cuando las precipitaciones recuperaron los niveles habituales (U. Confalonieri, datos inéditos, 1999). En cambio, en Bolivia<sup>57</sup>, el Ecuador<sup>58</sup> y el Perú<sup>59</sup> se observó el fenómeno contrario; el paludismo aumentó cuando las fuertes lluvias asociadas con el fenómeno El Niño/Oscilación Austral de 1982-1983 fueron seguidas de inundaciones. Además, en el Ecuador, hubo factores como la emigración y la desorganización de los servicios sanitarios que contribuyeron indirectamente a la epidemia<sup>59</sup>.

Las fuertes lluvias asociadas con El Niño/ Oscilación Austral de 1991-1992 estuvieron vinculadas a la propagación de los vectores del paludismo desde zonas

endémicas del Paraguay a la Argentina<sup>60</sup>. Los cambios en los ecosistemas templados de la zona meridional de América del Sur provocados por el cambio climático permitirían a *Anopheles darlingi* ampliar su hábitat hacia el sur<sup>61, 62</sup>.

Estimaciones recientes basadas en el modelo acoplado océano-atmósfera de circulación general del Centro Hadley (HadCM3) predijeron que el número adicional de personas en riesgo de infección debido a la transmisión de paludismo en América del Sur durante todo el año aumentaría de 25 millones en 2020 a 50 millones en 2080<sup>63</sup>.

Se ha estudiado el efecto del cambio climático sobre la escorrentía anual en América del Sur utilizando diferentes modelos de circulación general<sup>64</sup>. Los escenarios del cambio climático proyectan en todos los casos aumentos de la escorrentía en la zona noroccidental de América del Sur donde se sabe que el paludismo es endémico. Aunque se ha demostrado en África la importancia de la humedad del suelo para la reproducción de los vectores *Anopheles*<sup>65</sup>, no se ha estudiado empíricamente en las Américas la relación entre el ciclo del agua y la transmisión del paludismo.

En el nordeste de América del Sur, una región que sufre sequías periódicas, se ha observado el resurgimiento de la leishmaniasis visceral (kala-azar), por ejemplo, en algunas zonas urbanas del Brasil<sup>66, 67</sup>. En las ciudades de São Luis y Teresina, se observaron importantes epidemias en 1983-1985 y 1992-1994, periodos que coincidieron con grandes sequías provocadas por El Niño. En el estado de Maranhão (Brasil), próximo a la región amazónica, también se observó a comienzos del decenio de 1980 un notable incremento del paludismo importado, que desde entonces es más frecuente que la forma autóctona de la enfermedad. La explicación más plausible de esos aumentos es la migración humana debida a la sequía. En el caso de los brotes de kala-azar, la población emigró de las zonas rurales endémicas a las ciudades en busca de empleo o de ayudas del Gobierno, debido al desplome de la agricultura, mientras que en el caso del aumento del paludismo importado, los inmigrantes se desplazaron a la vecina Amazonía, una

zona endémica, para encontrar trabajo temporal; luego, al terminar la sequía, llevaron consigo nuevas formas de la enfermedad a sus lugares de origen (U. Confalonieri, datos inéditos, 1999).

No existe apenas información acerca de los posibles efectos del cambio climático sobre los bosques tropicales de la Amazonía, la fuente natural de docenas de infecciones arbovirales selváticas conocidas, restringidas en su mayor parte a la selva tropical, y probablemente muchas infecciones están todavía por descubrir. Los modelos recientes de interacción entre el clima y la cubierta terrestre han puesto de manifiesto que la deforestación de la región amazónica podría tener repercusiones importantes en la dinámica del clima regional<sup>68-70</sup>. El aumento de la temperatura a nivel local debido a la deforestación en la Amazonía puede ser incluso superior al que predicen los modelos del cambio climático mundial a partir de una duplicación de las emisiones de dióxido de carbono. Se prevé que de continuar la deforestación habrá una mayor sequía que influirá en la dinámica de las enfermedades infecciosas, especialmente de las asociadas a reservorios y vectores forestales, como el paludismo, la leishmaniasis y las infecciones arbovirales. Los cambios en las condiciones físicas que determinan la supervivencia de los vectores (humedad y criaderos) y las influencias en los depredadores de los insectos y los reservorios de vertebrados son los posibles mecanismos de esa interferencia<sup>71</sup>.

Las oscilaciones climáticas pueden afectar a la dinámica de la fiebre del dengue<sup>72</sup>, transmitida por el mosquito *Aedes aegypti*, una especie predominantemente urbana. En América Latina, aproximadamente el 78% de la población, unos 81 millones de personas, viven en núcleos urbanos, y la enfermedad ha aumentado durante el último decenio<sup>51</sup>. Se ha estudiado la influencia del aumento de la temperatura en la intensidad y distribución del dengue en los diferentes continentes<sup>73</sup>. Con un aumento de 2°C a la conclusión del próximo siglo<sup>2</sup>, la intensidad de la transmisión aumentaría en promedio de 2 a 5 veces en la mayor parte de América del Sur. Se cree también que en la mitad sur del continente aparecerían nuevas zonas de transmisión.

En resumen, los intensos efectos de El Niño en la región ecuatorial de América del Sur intensificarán probablemente la transmisión del paludismo y de la fiebre del dengue. La emigración humana por efecto de la sequía y la degradación del medio ambiente, así como por motivos económicos, podría propagar la enfermedad de formas inesperadas, y la pobreza creciente de las zonas urbanas y la deforestación y degradación ambiental en las zonas rurales podrían hacer aparecer nuevos lugares de reproducción de los vectores. El cambio climático potenciará esos efectos.

### América del Norte

En el vecino Estados Unidos, el promedio de las temperaturas diarias ha aumentado aproximadamente en un 0,4°C, concentrándose la mayor parte de ese aumento en los últimos 30 años<sup>74</sup>. Estudios recientes indican que se está modificando el ciclo hidrológico, con un aumento del manto nuboso y de las precipitaciones<sup>75</sup>. También ha cambiado la distribución de los valores pluviales extremos, con una mayor frecuencia de las precipitaciones intensas y una disminución de las precipitaciones ligeras<sup>74,76</sup>. Cada vez es más patente que se están produciendo cambios cuantificables en las tendencias climáticas<sup>77</sup>.

Los riesgos para la salud derivados de esos cambios climáticos serán distintos en unos y otros países, en función de la infraestructura sanitaria. En el Canadá y los Estados Unidos, la existencia de programas adecuados de vigilancia y lucha antivectorial limitan la transmisión endémica de enfermedades como el paludismo y el dengue. La infraestructura sanitaria de México y otros países menos desarrollados no es tan eficaz. Incluso en algunos países desarrollados, la intensificación de los viajes internacionales y la falta de notificación documentada ponen de manifiesto la existencia de un riesgo permanente y la necesidad de una vigilancia estricta<sup>78</sup>.

Recientemente, en 1999, se introdujo la encefalitis viral del Nilo occidental en la zona de Nueva York, siendo ésta la primera vez que se detectaba este virus

en América del Norte<sup>79</sup>. Se ignora todavía si la extrema sequía, sin precedentes, que afectó a la costa este durante el verano influyó en las poblaciones de mosquitos *Culex* que pueden ser portadores del virus. Las aves son los huéspedes naturales del virus del Nilo occidental.

La garrapata *Iscodex scapularis* transmite *Borrelia burgdorferis*, una espiroqueta que es el agente causante de la enfermedad de Lyme, la dolencia de transmisión vectorial más común en los Estados Unidos, con 15'934 casos en 1998. Otras enfermedades transmitidas por garrapatas son la fiebre maculosa de las Montañas Rocosas y la ehrlichiosis, que fue detectada por primera vez a mediados de los años ochenta. Las poblaciones de garrapatas y mamíferos huéspedes implicadas están influidas por el uso de la tierra/cubierta terrestre, el tipo de suelo, la altitud y el momento, duración e intensidad del cambio de los regímenes de temperaturas y precipitaciones<sup>80,81</sup>. Se ha comprobado experimentalmente, en estudios de campo y de laboratorio, la existencia de una relación entre los parámetros de las fases de la vida del vector y las condiciones climáticas<sup>80</sup>. Según un estudio de modelización, la fiebre maculosa de las Montañas Rocosas podría disminuir en el sur de los Estados Unidos por la intolerancia de las garrapatas a las altas temperaturas y la menor humedad<sup>82</sup>.

En el decenio de 1990 se observó en Nueva York y Nueva Jersey una relación entre la temperatura y la transmisión ocasional del paludismo; todos los brotes se produjeron en condiciones de calor y humedad excepcionales que redujeron el tiempo de desarrollo de los esporozoitos del paludismo lo suficiente como para que esos mosquitos anofelinos del norte fueran infecciosos<sup>83,84</sup>. Sin embargo, incluso cuando las condiciones climáticas han favorecido la transmisión local, los brotes han sido pequeños hasta la fecha.

El dengue y la fiebre hemorrágica dengue están aumentando en las Américas<sup>85,86</sup>. En Puerto Rico se registran 10'000 casos de fiebre del dengue anualmente, y la enfermedad se manifiesta ahora en casi todos los países del Caribe y en México, y ha sido periódicamente endémica en Texas durante los dos últimos decenios. Los virus del dengue proliferan

predominantemente en los trópicos entre los 30°N y los 20°S<sup>87</sup>, pues las heladas o el frío prolongado destruyen los mosquitos adultos, los huevos depositados durante el invierno y las larvas<sup>88,89</sup>. Como se ha dicho anteriormente, los modelos elaborados a escala mundial han abordado el potencial de transmisión en los diferentes escenarios de cambio climático<sup>73,90</sup>. Sin embargo, la fiebre del dengue depende en gran medida de factores ambientales locales. Se ha analizado la forma en que podría modificarse el riesgo en tres lugares, Brownsville (TX), Nueva Orleans, Louisiana y algunos lugares de Puerto Rico, en el marco de la evaluación nacional de la variabilidad y cambio del clima en los Estados Unidos (Dana Focks et al., datos inéditos, 2000). Sólo se ha completado el análisis de Brownsville. El uso de un escenario de cambio climático transitorio, basado en el modelo acoplado atmósfera-océano de circulación general del Centro Hadley (HadCM2), indica que la humedad disminuye drásticamente en el sur de Texas a medida que aumenta la temperatura. El potencial de transmisión del dengue del modelo disminuyó para este lugar. Sin embargo, es posible que no ocurra lo mismo en el caso de Puerto Rico, por su situación insular.

La mayor parte de los casos de encefalitis notificados en los Estados Unidos son transmitidos por mosquitos. La encefalitis de Saint Louis es la que presenta una mayor prevalencia<sup>91</sup>; también se dan la encefalitis La Crosse y la encefalomiелitis equina del oeste, del este y de Venezuela. Aunque la longevidad de los mosquitos disminuye cuando aumenta la temperatura, los índices de transmisión viral (al igual que en la fiebre del dengue) aumentan notablemente a mayores temperaturas<sup>92-94</sup>. A partir de estudios sobre el terreno realizados en California, los investigadores predicen que un aumento de 3-5°C causará un importante desplazamiento hacia el norte de los brotes de fiebre equina del oeste y de la encefalitis de Saint Louis, así como la desaparición de la encefalitis equina del oeste de Venezuela en las regiones endémicas del sur<sup>94</sup>. Los brotes de encefalitis de Saint Louis en humanos están relacionados con periodos de varios días en que la temperatura supera los 30°C<sup>95</sup>, como ocurrió en la epidemia de California de 1984. Los análisis por ordenador de los datos climáticos mensuales han de-

mostrado que los brotes suelen estar precedidos de una lluvia excesiva en enero y febrero, unida a unas condiciones de sequía en julio<sup>96</sup>. Ese modelo de inviernos cálidos y húmedos seguidos de veranos calurosos y secos coincide con las proyecciones del modelo de circulación general relativas al cambio climático en gran parte de los Estados Unidos<sup>97,98</sup>. Se ha asociado la encefalitis equina del este con veranos cálidos y húmedos en la costa este de los Estados Unidos<sup>99</sup>.

Se cree que la epidemia de hantavirus pulmonar que se registró en el suroeste de los Estados Unidos se debió a un incremento de las poblaciones de roedores relacionado con las condiciones climáticas y ecológicas<sup>100,101</sup>; en 1993, seis años de sequía seguidos de lluvias primaverales muy intensas hicieron que se multiplicará por 10 la población de ratones y ciervos, que pueden ser portadores del virus. Se ha establecido una vinculación geográfica entre algunos agrupamientos de la enfermedad y las zonas con mayores precipitaciones y vegetación tras el fenómeno El Niño<sup>102</sup>. De igual modo, se ha asociado la incidencia de la peste transmitida por las pulgas con periodos anteriores de precipitaciones intensas en la región<sup>103</sup>.

En América Central, se ha asociado la leptospirosis, de la que son portadores los roedores, con las inundaciones. Por ejemplo, en Nicaragua, un estudio de casos y testigos de la epidemia de 1995 descubrió que el riesgo de contraer la enfermedad era 15 veces mayor cuando se caminaba por zonas anegadas<sup>104</sup>. Rara vez se notifican casos de esta enfermedad en los Estados Unidos, pero hay que tener en cuenta que está subdiagnosticada<sup>105</sup>.

La enfermedad de Lyme y la encefalitis serán una amenaza cada vez mayor para la salud pública en los Estados Unidos a medida que sean más propicias las condiciones para su transmisión. No obstante, a medida que se vayan conociendo mejor los vínculos entre el clima y esas enfermedades y que aumente la precisión de las predicciones climáticas, mejorarán los métodos para prevenir los brotes, p. ej., mediante la información de salud pública. Aunque la enfermedad de Lyme puede ser tratada, sigue siendo difícil de diagnosticar. Las pruebas de laboratorio de que se

dispone actualmente no son totalmente satisfactorias porque no tienen la sensibilidad y especificidad necesarias y no están bien normalizadas. El subdiagnóstico es un problema en algunas zonas de los Estados Unidos donde la enfermedad no es endémica o es poco habitual. La población de ratones y de ciervos existente en una región determinada influye en el número de garrapatas. Probablemente, la reciente recuperación del censo de ciervos en el nordeste de los Estados Unidos y el surgimiento de entornos suburbanos en las zonas rurales donde proliferan habitualmente las garrapatas de los ciervos han contribuido notablemente a aumentar la prevalencia de la enfermedad.

### **Asia, Australia y las islas del Pacífico occidental**

En Asia existen regiones tropicales y templadas. El paludismo causado por *Plasmodium falciparum* y por *P. vivax*, la fiebre del dengue, la fiebre hemorrágica dengue y la esquistosomiasis son endémicas en algunas zonas del Asia tropical. Durante los últimos 100 años, las temperaturas superficiales medias han aumentado en 0,3-0,8 °C en el conjunto del continente, y se prevé que para 2070 habrán aumentado entre 0,4 y 4,5°C<sup>3</sup>.

En el Pakistán, en la provincia de la frontera del noroeste, se ha asociado el aumento de la temperatura, las precipitaciones y la humedad durante algunos meses con un aumento de la incidencia del paludismo causado por *P. falciparum*<sup>106</sup>. En el Punjab nororiental, las epidemias de paludismo se quintuplicaron a causa del fenómeno El Niño registrado el año anterior, y en Sri Lanka el riesgo de epidemias de paludismo se multiplicó por cuatro durante un año de actividad de El Niño. En el Punjab, las epidemias están asociadas con precipitaciones superiores a lo normal, y en Sri Lanka con precipitaciones inferiores a lo normal<sup>107</sup>.

Según la OMS, muchos países de Asia sufrieron en 1998 niveles inusualmente elevados de dengue y/o fiebre hemorrágica dengue, siendo la actividad mayor

que en ningún otro año. Los cambios registrados en el sistema climático, como el fenómeno El Niño, pueden ser factores importantes<sup>108</sup>, pues experimentos de laboratorio han demostrado que el periodo de incubación del virus 2 del dengue en *Aedes aegypti* podría reducirse de 12 días a 30°C a 7 días a 32-35°C<sup>5</sup>. En varios estados insulares pequeños del Pacífico se ha notificado la aparición de fiebre del dengue cuando las precipitaciones y las temperaturas locales se correlacionan con el índice de oscilación austral, un componente del fenómeno El Niño/Oscilación Austral. Además, se encontró una correlación positiva entre el índice y la fiebre del dengue en 10 de 14 de esos estados insulares<sup>109</sup>.

En el Asia oriental y el Pacífico, del 41% al 79% del producto interno nacional procede principalmente de zonas urbanas. Los niveles de urbanización varían del 16% y el 19% en Papua Nueva Guinea y Viet Nam, respectivamente, al 82% en la República de Corea, y se calcula que durante el periodo 2000-2005 la tasa de urbanización en esta región se situará en torno al 3,5%. Esta tendencia aumentará aún más los riesgos de transmisión de enfermedades (A. K. Githeko, datos inéditos, 1999).

En Australia, las principales enfermedades transmitidas por vectores son las causadas por los virus Ross River y Barmah Forest de la artritis y el virus Murray Valley de la encefalitis. La transmisión de esos virus se asocia a la existencia de criaderos de mosquitos y a unas condiciones ambientales propicias<sup>110</sup>. Las inundaciones se han asociado con brotes virales.

Las previsiones relativas al clima en Australia para el año 2030 indican que las temperaturas aumentarán en 0,3-1,4°C, con una tendencia global a la disminución de las precipitaciones. Sin embargo, en los últimos decenios las precipitaciones medias parecen haber aumentado un 14% y las lluvias intensas del 10% al 20%. El clima australiano presenta una gran variabilidad<sup>3</sup>.

En Nueva Zelanda, preocupa la posibilidad de que el cambio de las condiciones ambientales -como el calentamiento mundial, con efectos concomitantes sobre la distribución de los vectores-, el desplazamiento

cada vez más rápido de personas virémicas por vía aérea y la introducción accidental de nuevos mosquitos vectores, particularmente *Aedes albopictus*, puedan suponer una amenaza, dada la elevada proporción de la población que carece de anticuerpos protectores<sup>111</sup>.

En Asia, la fiebre del dengue<sup>5</sup> y el paludismo<sup>106, 107</sup> se han asociado a aumentos anómalos de las temperaturas y las precipitaciones, mientras que en Australia los brotes de enfermedades arbovirales se asocian frecuentemente a inundaciones<sup>110</sup>. El desarrollo urbano en Asia y las regiones circundantes puede tener efectos importantes en las tendencias de la transmisión de la fiebre del dengue. En algunas zonas, como Viet Nam, también han podido influir los efectos de la inestabilidad civil anterior y el escaso crecimiento económico.

## Conclusiones

Además de los factores que ahora favorecen las enfermedades transmitidas por vectores, como la variación estacional del tiempo, la situación socioeconómica, los programas de lucha antivectorial, los cambios ambientales y la resistencia a los medicamentos, es muy probable que el cambio y la variabilidad climáticos influyan en la epidemiología de esas enfermedades. Los efectos se pueden expresar en formas muy distintas, desde epidemias a corto plazo hasta cambios graduales a largo plazo en las tendencias de las enfermedades. Existen algunas pruebas epidemiológicas que abonan este punto de vista. Por ejemplo, los resultados obtenidos recientemente en Kenya indican que las variaciones anómalas del clima provocarán hasta el 26% de la variación de los casos de paludismo de las tierras altas hospitalizados (A. K. Githeko, datos inéditos, 2000). Sin embargo, es necesario tener en cuenta (análisis multifactorial) todos los factores que influyen en la transmisión de las enfermedades y los resultados clínicos. Actualmente son muy pocos, cuando existen, los datos publicados que faciliten esa información, en parte porque la ciencia del clima y la salud está todavía poco desarrollada, y en consecuencia se desconoce en qué

medida los cambios experimentados por las enfermedades de transmisión vectorial son atribuibles al cambio climático. Éste es un serio obstáculo para modificar la política sanitaria basándose en datos concretos. Aunque es relativamente fácil detectar los efectos de la variabilidad del clima en las enfermedades de transmisión vectorial, no puede decirse lo mismo del cambio climático, debido a la lentitud con que éste se produce. Además, es posible que las poblaciones urbanas puedan adaptarse al cambio climático y mitigar sus consecuencias. Por ejemplo, en las tierras altas africanas, el paludismo podría estabilizarse gradualmente, y ello supondría una reducción de las epidemias.

La adaptación al cambio y la variabilidad climáticos dependerá en parte del nivel de la infraestructura sanitaria en las regiones afectadas. Por otra parte, el costo y la eficacia de la prevención y la curación serán primordiales para el tratamiento de las enferme-

dades. En algunas regiones, como África y América del Sur, existe una gran diversidad de vectores de enfermedades que son sensibles al cambio climático, y se necesitarán mayores esfuerzos y recursos para contener el cambio previsto de la epidemiología de las enfermedades. Además, la variabilidad del clima, a diferencia de cualquier otro factor epidemiológico, puede precipitar simultáneamente múltiples epidemias de enfermedades y otros tipos de catástrofes. El cambio climático tiene consecuencias de gran alcance que van más allá de la salud y afectan a todos los sistemas necesarios para la vida. Es, pues, un factor de enorme importancia entre aquellos que afectan a la salud y la supervivencia humanas.

---

## Referencias bibliográficas

- [1] Houghton JT et al., eds. *An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report*. Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997 (documento técnico inédito).
- [2] Watson RT et al., eds. *The regional impacts of climate change. An assessment of vulnerability. A Special Report of IPCC Working Group II*. Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- [3] Watson RT et al., eds. *Climate change 1995; impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- [4] Lindsay SW, Birley MH. *Climate change and malaria transmission*. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 1996, **90**: 573–588.
- [5] Watts DM et al. *Effect of temperature on the vector efficiency of Aedes aegypti for dengue 2 virus*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1987, **36**: 143–152.
- [6] Rueda LM et al. *Temperature-dependent development and survival rates of Culex quinquefasciatus and Aedes aegypti (Diptera: Culicidae)*. *Journal of Medical Entomology*, 1990, **27**: 892–898.
- [7] Gillies MT. *The duration of the gonotrophic cycle in Anopheles gambiae and An. funestus with a note on the efficiency of hand catching*. *East African Medical Journal*, 1953, **30**: 129–135.
- [8] Turell MJ. *Effects of environmental temperature on the vector competence of Aedes fowleri for Rift Valley fever virus*. *Research in Virology*, 1989, **140**: 147–154.

- [9] **Carter TR, Hulme M.** *Interim characterizations of regional climate and related changes up to 2100 associated with the provisional SRES emissions scenarios: guidance for lead authors of the IPCC Working Group II Third Assessment Report.* Washington, DC, IPCC Working Group II Technical Support Unit, 1999 (documento inédito).
- [10] *El Niño and its health impacts.* Weekly Epidemiological Record—Relevé épidémiologique hebdomadaire, 1998, **73** (20): 148–152.
- [11] **Linthicum JK et al.** *Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemic in Kenya.* Science, 1999, **285**: 297–400.
- [12] **Lindsay SW et al.** *Effect of 1997–8 El Niño on highland malaria in Tanzania.* Lancet, 2000, **355**: 989–990.
- [13] **Faye O et al.** *Drought and malaria decrease in the Niayes area of Senegal.* Santé , 1995, **5**: 299–305.
- [14] **Coluzzi M et al.** *Chromosomal differentiation and adaptation to human environment.* Transactions of the Royal Society of Medicine and Hygiene, 1979, **73**: 483–497.
- [15] **Lindsay SW, Parson L, Thomas J.** *Mapping the ranges and relative abundance of the two principal African malaria vectors, Anopheles gambiae sensu stricto and An. arabiensis, using climate data.* Proceedings of the Royal Society of London, B, 1998, **265**: 847–854.
- [16] **Ernould JC, Ba K, Sellin B.** *The impact of the local waterdevelopment programme on the abundance of the intermediate hosts of schistosomiasis in three villages of the Senegal River delta.* Annals of Tropical Medicine and Parasitology, 1999, **93**: 135–145.
- [17] **Marti HP et al.** *Studies on the ecology of Bulinus globosus, the intermediate host of Schistosoma haematobium in the Ifakara area, Tanzania.* Acta Tropica, 1985, **42**: 171–187.
- [18] **Woolhouse ME, Chandiwana SK.** *Population dynamics model for Bulinus globosus, intermediate host for Schistosoma haematobium, in river habitats.* Acta Tropica, 1990, **47**: 151–160.
- [19] **Ghebreyesus TA et al.** *Incidence of malaria among children living near dams in northern Ethiopia: community based incidence survey.* British Medical Journal, 1999, **319**: 663–666.
- [20] **Ollivier G, Brutus L, Coy M.** *La schistosomose intestinale à Schistosoma mansoni à Madagascar: extension et focalisation de l'endémie.* Bulletin de la Société de Pathologie Exotique et de ses Filiales, 1999, **92** (2): 99–103.
- [21] *World Bank: Africa Live Database*, Internet 5/01/2000.  
<http://wb1n0018.worldbank.org/afr/aftbrief.nsf>
- [22] **Phillips M, Phillips-Howard PA.** *Economic implications of resistance to antimalarial drugs.* Pharmacoeconomics, 1996, **10**: 225–238.
- [23] **Ruebush TK et al.** *Self-treatment of malaria in a rural area of western Kenya.* Bulletin of the World Health Organization — Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé , 1995, **73** (2): 229–236.
- [24] **Hamilton AC.** *The climate of East Usambaras.* In: Hamilton AC, Bensted-Smith R, eds. Forest conservation in the East Usambaras. Gland, Switzerland, International Union for Conservation of Nature, 1989: 79–102.
- [25] **Lindsay SW, Martens WJM.** *Malaria in the African highlands: past, present and future.* Bulletin of the World Health Organization — Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé , 1998, **76** (1): 33–45.
- [26] **Connor SJ, Thomson MC, Molyneux DH.** *Forecasting and preventing epidemic malaria: new perspectives and old problems.* Parasitologia, 1999, **41**: 439–448.
- [27] *World malaria situation in 1994.* Weekly Epidemiological Record —Relevé épidémiologique hebdomadaire, 1997, **72** (36): 269–274.
- [28] **Loevinsohn ME.** *Climate warming and increase in malaria incidence in Rwanda.* Lancet, 1994, **343**: 714–718.
- [29] **Matola YG, White GB, Magayuka SA.** *The changed pattern of malaria endemicity and transmission at Amani in the Eastern Usambara*

- mountains, north-eastern Tanzania*. Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1987, **90**: 127–134.
- [30] **Hackett L.** *Malaria in Europe: an ecological approach*. London, Oxford University Press, 1937.
- [31] **Bruce-Chwatt L, Zulueta JD.** *The rise and fall of malaria in Europe*. London, Oxford University Press, 1980.
- [32] **Molineaux L.** *The epidemiology of human malaria as an explanation of its distribution, including some implications for its control*. New York, Churchill Livingstone, 1988.
- [33] **Sabatini G.** *Contextual determinants of malaria in the WHO European Region*. Documento presentado en: Contextual Determinants of Malaria: an International Workshop, Lausanne, Switzerland, 14–18 May 2000. Pittsburg, PA, Center for Integrated Study of the Human Dimensions of Global Change, Carnegie Mellon University, USA, 2000 (documento inédito).
- [34] **Baldari M et al.** *Malaria in Maremma, Italy*. Lancet, 1988, **351**: 1246–1247.
- [35] **Simini B.** *First case of indigenous malaria reported in Italy for 40 years*. Lancet, 1997, **350**: 717.
- [36] **Boyd MF.** *Malariology*. A comprehensive survey of all aspects of this group of diseases from a global standpoint. Philadelphia, PA, WB Saunders, 1949.
- [37] **James S.** *Some general results of a study of induced malaria in England*. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 1931, **24**: 477–525.
- [38] **Shute PG.** *Failure to infect English specimens of Anopheles maculipennis var. atroparvus with certain strains of Plasmodium falciparum of tropical origin*. Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1940, **43**: 175–178.
- [39] **Ribeiro H et al.** *An attempt to infect Anopheles atroparvus from Portugal with African Plasmodium falciparum*. Revista Portuguesa de Doencas infecciosas, 1989, **12**: 81–82.
- [40] **Shute PG.** *Malaria in England*. Public Health, 1945, **58**: 62–65.
- [41] **Ramsdale CD, Coluzzi M.** *Studies on the infectivity of tropical African strains of Plasmodium falciparum to some southern European vectors of malaria*. Parasitologia, 1975, **17**: 39–48.
- [42] **Martens P.** *Health and climate change*. London, Earthscan, 1998.
- [43] **Danis M et al.** *Indigenous, introduced and airport malaria in Europe*. Médecine et maladies infectieuses, 1999, **26**: 393–396.
- [44] **Romi R, Di Luca M, Majori G.** *Current status of Aedes albopictus and Aedes atropalpus in Italy*. Journal of the American Mosquito Control Association, 1999, **15**: 425–427.
- [45] **Lundström J.** *Mosquito-borne viruses in Western Europe: a review*. Journal of Vector Ecology, 1999, **24**: 1–39.
- [46] **Sutherst R.** *Implications of global change and climate variability for vector-borne diseases: generic approaches to impact assessments*. International Journal for Parasitology, 1998, **28**: 935–945.
- [47] **Lindgren E.** *Climate and tickborne encephalitis*. Conservation Ecology, 1998, **2**: 1–14.
- [48] **Jaenson T et al.** *Geographical distribution, host associations and vector roles of ticks (Acari: Ixodidae, Argasidae) in Sweden*. Journal of Medical Entomology, 1994, **31**: 240–256.
- [49] **Lindgren E, Talleklint L, Polfeldt T.** *Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick Ixodes ricinus*. Environmental Health Perspectives, 2000, **108**: 119–123.
- [50] **Dedet J, Pratlong F.** *Leishmania, Trypanosoma and moneous trypanosomatids as emerging opportunistic agents*. Journal of Eukar-

yotic Microbiology, 2000, 47: 37–39.

- [51] *La Salud en las Américas, vol. I.* Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1998 (Publicación científica, No 569).
- [52] *Las condiciones de salud en las Américas, vol. I.* Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1994 (Publicación científica, No 549)
- [53] **Vasconcelos, PFC et al.** *Clinical and ecoepidemiological situation of human arboviruses in Brazilian Amazonia.* Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science, 1992, **44**: 117–124.
- [54] **Bouma MJ et al.** *Predicting high-risk years for malaria in Colombia using parameters of El Niño–Southern Oscillation.* Tropical Medicine and International Health, 1997, **2**: 1122–1127.
- [55] **Poveda, G et al.** *Climate and ENSO variability associated with vector-borne diseases in Colombia.* In: Diaz HF, Markgraf V, eds. *El Niño and the Southern Oscillation, multiscale variability and regional impact.* Cambridge, Cambridge University Press, 1999.
- [56] **Bouma MJ, Dye C.** *Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela.* Journal of the American Medical Association, 1997, **278**: 1772–1774.
- [57] **Telleria AV.** *Health consequences of the floods in Bolivia in 1982.* Disasters, 1986, **10**: 88–106.
- [58] **Cedeño JEM.** *Rainfall and flooding in the Guayas river basin and its effects on the incidence of malaria 1982–1985.* Disasters, 1986, **10**: 107–111.
- [59] **Russac PA.** *Epidemiological surveillance: malaria epidemic following el Niño phenomenon.* Disasters, 1986, **10**: 112–117.
- [60] **Burgos JJ et al.** *Malaria and global climate change in Argentina.* Entomology of Vectors, 1994, **1**: 123.
- [61] **Curto de Casas SI, Carcavallo RU.** *Climate change and vector-borne diseases distribution.* Social Science and Medicine, 1995, **40**: 1437–1440.
- [62] **Carcavallo RU, Curto de Casas, SI.** *Some health implications of global warming in South America.* Journal of Epidemiology, 1996, **6**: 5153–5157.
- [63] **Martens P et al.** *Climate change and future populations at risk of malaria.* Global Environmental Change, 1999, **9**: S89–S107.
- [64] **Yates DN.** *Climate change impacts on the hydrologic resources of South America: an annual, continental scale assessment.* Climate Research, 1997, **9**: 147–155.
- [65] **Patz JA et al.** *Predicting key malaria transmission factors, biting and entomological inoculation rates using modeled soil moisture in Kenya.* Journal of Tropical Medicine and International Health, 1998, **3**: 818–827.
- [66] **Costa CH.** *Urbanization and kala-azar in Brazil: kala-azar in Teresina.* In: Brandão Filho, SP, ed. *Research and control of leishmaniasis in Brazil. Proceedings of a Workshop.* Recife, Cpag, Fiocruz, 1993.
- [67] **Silva AR et al.** *[Leishmaniasis visceral (kala-azar) en la isla de São Luís, Maranhão, Brasil: evolución y perspectivas.]* Revista de la Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, 1997, **30**: 359–368 (en portugués).
- [68] **Lean J, Warrilow DA.** *Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation.* Nature, 1989, **342**: 411–413.
- [69] **Nobre CA, Sellers PJ, Shukla J.** *Amazon deforestation and regional climate change.* Journal of Climate, 1991, **4**: 957–988.
- [70] **Shukla J, Nobre C, Sellers P.** *Amazon deforestation and climate change.* Science, 1990, **247**: 1322–1325.
- [71] **Chivian E.** *Global environmental degradation and biodiversity loss: implications for human health.* In: Grifo F, Rosenthal J, eds. *Biodi-*

- versity and human health. Washington, DC, Island Press, 1998: 7–38
- [72] **Foo LC et al.** *Rainfall, abundance of Aedes aegypti and dengue infection in Selanjor, Malaysia.* Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health, 1985, **16**: 560–568.
- [73] **Jetten TH, Focks DA.** *Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming.* American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1997, **57**: 285–297.
- [74] **Karl TR, Knight RW, Plummer N.** *Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century.* Nature, 1995, **377**: 217–220.
- [75] **Groisman PY, Easterling DR.** *Variability and trends of precipitation and snowfall over the United States and Canada.* Journal of Climate, 1994, **7**: 186–205.
- [76] **Karl TR et al.** *Indices of climate change for the United States.* Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, **77**: 279–303.
- [77] **Shriner DS et al.** *North America. The regional impacts of climate change.* Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- [78] **Gill J, Stark LM, Clark GC.** *Dengue surveillance in Florida, 1997–98.* Emerging Infectious Diseases, 2000, **6**: 30–35.
- [79] **Lanciotti RS et al.** *Origin of the West Nile virus responsible for an outbreak of encephalitis in the northeastern United States.* Science, 1999, **286**: 2333–2337.
- [80] **Mount GA et al.** *New version of LSTSIM for computer simulation of Amblyomma americanum (Acari: Ixodidae) population dynamics.* Journal of Medical Entomology, 1993, **30**: 843–857.
- [81] **Glass GE.** *Predicting Ixodes scapularis abundance on whitetailed deer using geographic information systems.* American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1994, **51**: 538–544.
- [82] **Haile DG.** *Computer simulation of the effects of changes in weather patterns on vector-borne disease transmission.* Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1989.
- [83] **Layton M et al.** *Mosquito transmitted malaria in New York, 1993.* Lancet, 1995, **346**: 729–731.
- [84] **Zucker JR.** *Changing patterns of autochthonous malaria transmission in the United States: a review of recent outbreaks.* Emerging Infectious Diseases, 1996, **2**: 37–43.
- [85] **Gubler DJ, Trent DW.** *Emergence of epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health problem in the Americas.* Infectious Agents Diseases, 1994, **2**: 383–393.
- [86] **Dengue and dengue hemorrhagic fever in the Americas: guidelines for prevention and control.** Washington, DC, Organización Panamericana de la Salud, 1994.
- [87] **Trent DW.** *Genetic variation among dengue 2 viruses of different geographic origin.* Virology, 1983, **128**: 271–284.
- [88] **Chandler AC.** *Factors influencing the uneven distribution of Aedes aegypti in Texas cities.* American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1945, **25**: 145–149.
- [89] **Shope RE.** *Global climate change and infectious diseases.* Environmental Health Perspectives, 1991, **96**: 171–174.
- [90] **Patz JA et al.** *Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change.* Environmental Health Perspectives, 1998, **106**: 147–153.
- [91] **Shope RE.** *Arbovirus-related encephalitis.* Yale Journal of Biology and Medicine, 1980, **53**: 93–99.
- [92] **Hardy JL.** *Susceptibility and resistance of vector mosquitoes.* In: Monath TP, ed. The arboviruses: epidemiology and ecology. Boca

Raton, CRC Press, 1988.

- [93] **Reisen WK.** *Effect of temperature on the transmission of Western Equine encephalomyelitis and St. Louis encephalitis viruses by Culex tarsalis (Diptera: Culicidae).* Journal of Medical Entomology, 1993, **30**: 151–160.
- [94] **Reeves WC.** *Potential effect of global warming on mosquito-borne arboviruses.* Journal of Medical Entomology, 1994, **31**: 323–332.
- [95] **Monath TP, Tsai TF.** *St. Louis encephalitis: lessons from the last decade.* American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1987, **37**: 40–59.
- [96] **Bowen SG, Francly DB.** *Surveillance.* In: Monath TP, ed. *St. Louis Encephalitis.* Washington, DC, American Public Health Association, 1980.
- [97] **Schneider SH.** *Global warming: are we entering the greenhouse century?* New York, Vintage Books. 1990.
- [98] **Houghton JT et al.,** eds. *Climate change, 1995—the science of climate change: contribution of working group I to the Second Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change.* Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- [99] **Freier JE.** Eastern equine encephalomyelitis. *Lancet*, 1993, **342**: 1281–1282.
- [100] **Wenzel RP.** *A new hantavirus infection in North America.* New England Journal of Medicine, 1994, **330**: 1004–1005.
- [101] **Engelthaler DM et al.** *Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States.* Emerging Infectious Diseases, 1999, **5**: 87–94.
- [102] **Glass GE et al.** *Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome.* Emerging Infectious Diseases, 2000, **6**: 238–247.
- [103] **Parmenter RR, Pratrapp YE, Parmenter CA.** *Incidence of plague associated with increased winter-spring precipitation in New Mexico.* American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1999, **61**: 814–821. 1999, **61**: 814–821.
- [104] **Trejevo RT et al.** *Epidemic leptospirosis associated with pulmonary hemorrhage—Nicaragua, 1995.* Journal of Infectious Diseases, 1998, **178**: 1457–1463.
- [105] **Demers RY et al.** *Exposure to Leptospira icterohaemorrhagiae in inner-city and suburban children: a serologic comparison.* Journal of Family Practice, 1983, **17**: 1007–1011.
- [106] **Bouma MJ, Dye C, van der Kaay HJ.** *Falciparum malaria and climate change in the northwest frontier province of Pakistan.* American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1996, **55**: 131–137
- [107] *El Niño and its health impacts.* Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2000 (WHO Fact Sheet No. 192 revised in March 2000—Aide-mémoire No 192, re´ vise´ en mars 2000).  
<http://www.who.int/home/info>
- [108] *Dengue in the WHO Western Pacific Region.* Weekly Epidemiological Record —Relevé épidémiologique hebdomadaire, 1998, **73** (36): 273–277.
- [109] **Hales S et al.** *El Niño and the dynamics of vector-borne disease transmission.* Environmental Health Perspectives, 1999, **107**: 99–102.
- [110] **Russell RC.** *Mosquito-borne arboviruses in Australia: the current scene and implications of climate change for human health.* International Journal of Parasitology, 1998, **28**: 955–969.
- [111] **Maguire T.** *Do Ross River and dengue viruses pose a treta to New Zealand?* New Zealand Medical Journal, 1994, **107**: 448–450.