

Mosquito *Anopheles*. Foto: <https://bit.ly/3K542av>



El cambio climático y su lado invisible

Oscar I. García-Garza, Hiram Villanueva-Lozano y Rogelio de J. Treviño-Rangel

Resumen: El cambio climático no solo altera el planeta, también desafía directamente nuestra salud. Este fenómeno global fuerza a los microorganismos que nos enferman a evolucionar, haciéndolos más agresivos y resistentes a nuestras defensas. Por ejemplo, el aumento de las temperaturas favorece que hongos como *Candida auris* causen infecciones en humanos. Al mismo tiempo, el clima cambiante expande los territorios de mosquitos y otros vectores, disparando la aparición de enfermedades infecciosas en nuevas regiones. Entender estos inesperados impactos es clave para protegernos de futuras amenazas a nuestra salud.

Palabras clave: Enfermedades infecciosas, *Candida auris*, paludismo, termotolerancia, epidemiología.

Maayat'aan (maya): U téek k'expajal u k'iinil jaja'il wa ke'elil yéetel ba'ax mun yila'al

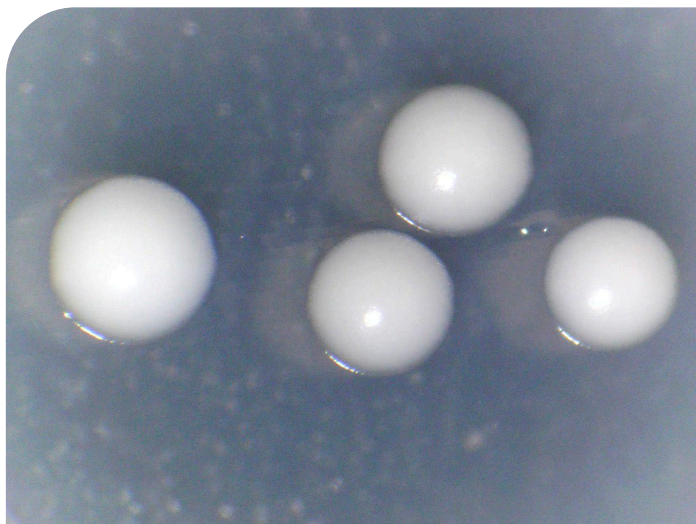
Kóom ts'iibil meyaj: U téek k'expajal u k'iinil jaja'il wa ke'elile' le k'aj óola'an beey cambio climático ma' chéen ku k'exbesik yóok'ol kaab, bey xan ku napul loobiltik k'oj óolal. Le ba'al ku yúuchul yóok'ol kaaba' ku muk'a'ankunsik mejen ikelo'ob ku k'oja'ankunsiko'on tumen ku k'expajal u wíinkilo'ob ti'al ma' u ch'éejelo'ob, ku sútulo'ob jach loobilo'ob yéetel k'wíinkile' mun tsa'ayal u tokubaj ti'ob. Je'ebix u jach chokojtal yóok'ol kaabe' ku yáantik ik'elo'ob wáaj hongo'ob je'ex *Candidozyma auris* u tsayik paak'be'en k'oja'anilo'ob ti' wíiniko'on. Kalikil xan, u jach téek k'expajal u k'iinil jaja'il wáaj k'iinile' ku beetik u seen ya'abtal kúuchilo'ob tu'ux yaan k'oxolo'ob yéetel uláak' ik'elo'ob tsayik k'oja'anil, ku t'i'itbesik túun paak'be'en k'oja'anilo'ob tu jeel kúuchi-lo'ob. K na'atik ba'ax ku téek táasike' ku yáantik uti'al k kanáantikekbaj ti' k'oja'anilo'ob ku taalob.

Áantaj t'aano'ob: Paak'be'en k'oja'anilo'ob, *Candidozyma auris*, paludismo, termotolerancia, epidemiología.

Bats'i k'op (tsotsil): Sk'ixnajel banamil xchi'uk ti mu k'usi xvi'naje

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Ti sk'ixnajel banamile mu ja'uk no'ox ta sokes ti banamil vinajele, xchi'uk jech ta sk'unib-tas stsatsal jch'iel jk'opojeltik. Ti va'ay k'usi jech ta xjel batel ta skotole ja' te ta stsatsuban batel yipik ch'uch'ulil chonetik ti yantik tsotsik ta milel cha'ay jbek'taltik k'alal jech xak'butik chamele. Jech k'ucha'al ti yantik k'ixnajem ti banamile ja' te lek ta xa'ayik ta ch'iel ti ch'uch'ulil chonetik jech k'ucha'al *Candidozyma auris* ti ja' stak' xak'be xchamel ti jch'iel jk'opojeltike. Xchi'uk xtok, ti sjelel sba sk'ixnajel osil banamile yantik ta xbolaj batel ti bik'tal usetike, ja' jech yantik ta xlok'an tael ach' chameletik ti butik mu'yuk to'oxe. Yojtikinel ti va'ay x-elán ta xk'otan ta pasele tsots sk'oplal yo' jech jk'el jchabitik batel ti jkuxlejaltike.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: Jch'amajel chameletik, *Candidozyma auris*, paludismo, stsatsubel yip xch'uch'ulil chonetik xchi'uk xchanel chameletik.



Colonias aisladas de *Candida auris* en cultivo. Foto: Rogelio de J. Treviño-Rangel.

Huracanes cada vez más intensos, incendios forestales, sequías, olas de calor... Es casi un hecho que estas son las primeras imágenes que vienen a la mente cuando pensamos en el cambio climático, y no es para menos: tales fenómenos evidencian la magnitud de las alteraciones del clima y sus efectos sobre la vida en el planeta. Sin embargo, el mayor riesgo para la salud humana podría no encontrarse en esos desastres visibles, sino en lo que ocurre en el mundo invisible que nos rodea: los microorganismos patógenos o parásitos, entre ellos bacterias, virus y hongos. Diversas investigaciones han mostrado que el cambio climático también está modificando su fisiología y sus ecosistemas, creando condiciones que podrían volverlos más resistentes, más activos o incluso más peligrosos para las personas.

Cambio climático y microorganismos

Los microorganismos están en constante evolución para adaptarse a su entorno, una capacidad que les da ventaja y les permite provocar infecciones más graves o que requieran tratamientos más complejos. En este proceso influye el cambio climático, pues altera la distribución geográfica y la frecuencia de los brotes epidémicos, además de que afecta a los microorganismos tanto de manera directa como indirecta.

Los efectos directos se reflejan en que algunos se vuelven más resistentes a las defensas del cuerpo humano. Un ejemplo claro es el aumento de las enfermedades fúngicas, resultado de la adaptación de ciertos hongos a la temperatura corporal humana. Los efectos indirectos, en cambio, provienen de los cambios que el clima genera en el comportamiento humano y en los vectores—los seres vivos que los microorganismos utilizan como vehículos para infectar a otras especies—, lo que incrementa la transmisión y aparición de infecciones. Así ocurre con los mosquitos: la expansión de las zonas donde se reproducen, sobre todo durante la época de lluvias, ha favorecido una mayor incidencia de las enfermedades que transmiten.

Por último, como la fisiología de cada grupo microbiano difiere entre sí, también varían los efectos que el cambio climático tiene sobre ellos. Por eso, su estudio suele abordarse por separado: por un lado, las enfermedades fúngicas, y por otro, las transmitidas por vectores.

Enfermedades fúngicas

La mayoría de las especies de hongos están habituadas a condiciones ambientales muy diferentes a las del cuerpo huma-



no, algo crucial para nuestra susceptibilidad a ser infectados por microorganismos. Una de esas condiciones es la temperatura. Los hongos en general se desarrollan mejor entre los 25 y 30 °C, como el moho del pan o los hongos de las plantas. Sin embargo, dado que la temperatura corporal humana oscila entre los 36.5 y 37.5 °C, no somos un buen hospedero para estos organismos. De hecho, para ellos somos como un horno o un desierto en pleno día. Además, otras condiciones como la baja disponibilidad de nutrientes específicos, la presión osmótica, la acidez de la piel y mucosas, e incluso la acción del sistema inmunológico, hacen que nuestro cuerpo sea un ambiente poco favorable para la supervivencia de una gran parte de los hongos.

No obstante, de acuerdo con un trabajo que el microbiólogo e inmunólogo estadounidense Arturo Casadevall publicó en 2020, en las últimas décadas el calentamiento global ha llevado a muchas especies a adaptarse a nuevas condiciones climáticas, y los hongos no son la excepción. Al verse expuestos a temperaturas más altas, han desarrollado una mayor tolerancia al calor, lo que les permite prosperar con más facilidad dentro del cuerpo humano.

Una muestra es el caso de *Candida auris*, un hongo levaduriforme (figura 1) que comenzó a causar infecciones graves en pacientes hospitalizados y con defensas inmunológicas bajas, de manera simultánea en Europa, África, Asia y Sudamérica. *C. auris* se distingue por su resistencia a múltiples fármacos, lo que complica su tratamiento. Asimismo, su presencia asintomática como colonizador de la piel humana facilita su propagación en entornos hospitalarios.

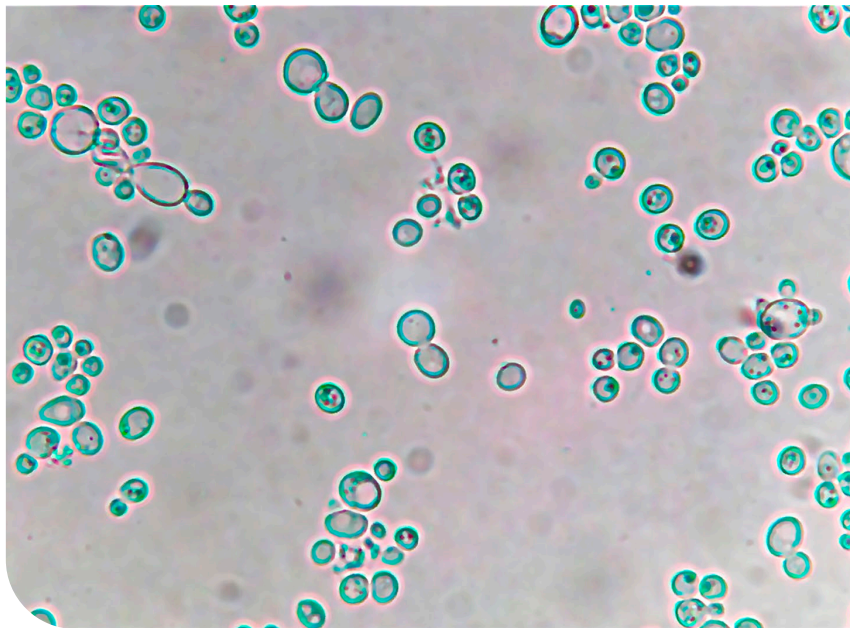


Figura 1. *Candida auris* observada al microscopio. Foto: Rogelio de J. Treviño-Rangel.

Casadevall también propuso la hipótesis de que *C. auris* era originalmente un hongo ambiental que, conforme aumentaban las temperaturas globales, desarrolló la capacidad de sobrevivir en el cuerpo humano. En las poblaciones microbianas surgen mutaciones de forma constante, y algunas de ellas confieren una mejor tolerancia al calor; cuando el ambiente se calienta, esas variantes sobreviven y predominan. El hecho de que *C. auris* se encuentre con frecuencia en la piel sugiere que ese pudo haber sido uno de los primeros pasos de su adaptación a los mamíferos.

De manera más general, el clima también influye en la propagación de otros hongos. Estos organismos se reproducen lanzando al aire esporas diminutas que viajan con el viento. Cuando las condiciones cambian —por ejemplo, durante sequías, tormentas de polvo o incendios— aumenta la cantidad de esporas en el medioambiente, y estas pueden recorrer distancias más largas. Al inhalarlas, las personas quedan expuestas a alergias o infecciones.

Lo que sabemos con certeza es que el calor, la humedad y los eventos extremos modifican la forma en que las esporas aparecen en el ambiente; lo que aún se investiga es si también cambian su estructura o tamaño para resistir mejor. Por ahora, la evidencia más sólida apunta a que el clima facilita su dispersión y nos expone más a ellas, aunque faltan detalles por entender.

Enfermedades transmitidas por vector

El estudio de las enfermedades transmitidas por vector es complejo porque los factores climáticos no solo influyen en los microorganismos causantes de la infección, sino también en la biología, ecología y distribución de sus vectores. Un vector es un organismo vivo que actúa como vehículo para que un virus, bacteria, hongo o parásito alcance a un hospedero susceptible. El ejemplo más conocido en América Latina es el mosquito *Aedes aegypti*, responsable de propagar el virus del dengue. Este virus se replica dentro del insecto, el cual lo introduce en una persona, mediante su saliva, cuando la pica.

Aunque los mosquitos son los vectores más estudiados, existen muchos otros, por ejemplo, las garrapatas que transmiten la enfermedad de Lyme o las pulgas que propagan la peste. El virólogo brasileño William M. de Souza, en su estudio de 2024, asegura que los efectos del cambio climático sobre los vectores varían según la especie y la región. En el caso de mosquitos como *Aedes aegypti* y *Anopheles* (vector de la malaria),



el aumento de la temperatura puede acelerar su metabolismo, reducir el tiempo de incubación del agente infeccioso dentro del insecto y, en consecuencia, favorecer una transmisión más rápida. Sin embargo, otras especies poseen límites térmicos estrechos y no toleran climas demasiado cálidos, lo que restringe su distribución geográfica.

Por otra parte, la precipitación pluvial tiene efectos diferenciados. Las lluvias moderadas generan hábitats ideales para el desarrollo larvario de mosquitos en charcos y depósitos de agua. En contraste, las precipitaciones extremas pueden arrastrar sus sitios de crianza, en tanto que las sequías prolongadas los obligan a adaptarse a criaderos artificiales, como depósitos de agua domésticos, lo que aumenta el contacto con los humanos. Esto nos permite comprender que el cambio climático no es simplemente “más lluvia”, sino que implica la alternancia de fenómenos extremos —inundaciones, huracanes y sequías— que reconfiguran de manera desigual los hábitats de los vectores.

Otro aspecto es la expansión geográfica y altitudinal de los vectores, en la cual intervienen múltiples factores: temperatura, humedad, altitud, disponibilidad de criaderos, control sanitario, urbanización, resistencia del agente infeccioso y comportamiento humano, entre otros. En el caso del paludismo, transmitido por mosquitos del género *Anopheles*, el

cambio climático ha contribuido a modificar en parte esos determinantes, aunque no de manera aislada ni directa. Las condiciones ambientales clásicamente favorables para *Anopheles* han sido zonas cálidas y húmedas; sin embargo, y gracias a las valiosas aportaciones de los investigadores Sierra-Castañeda, Vittor y Danis-Lozano, en años recientes se ha documentado su presencia en áreas de mayor altitud como Colombia, Perú y México, donde antes se consideraban improbables. Este hallazgo coincide con estudios que muestran cómo el aumento de la temperatura media y la variabilidad climática permiten al vector colonizar nuevos espacios, ampliando el riesgo de transmisión en poblaciones que históricamente no estaban expuestas (figura 2).

La relación entre el evento meteorológico El Niño y la incidencia de paludismo también es compleja. Mientras que sequías prolongadas pueden reducir temporalmente los criaderos naturales, las sequías parciales seguidas de lluvias irregulares favorecen la formación de charcos que actúan como hábitats larvarios. Así, no es la sequía por sí sola, sino la interacción entre eventos extremos y disponibilidad de microhábitats lo que determina los brotes.

Conclusión

El cambio climático va más allá de derretir glaciares o intensificar tormentas. Como hemos visto, está modificando las reglas

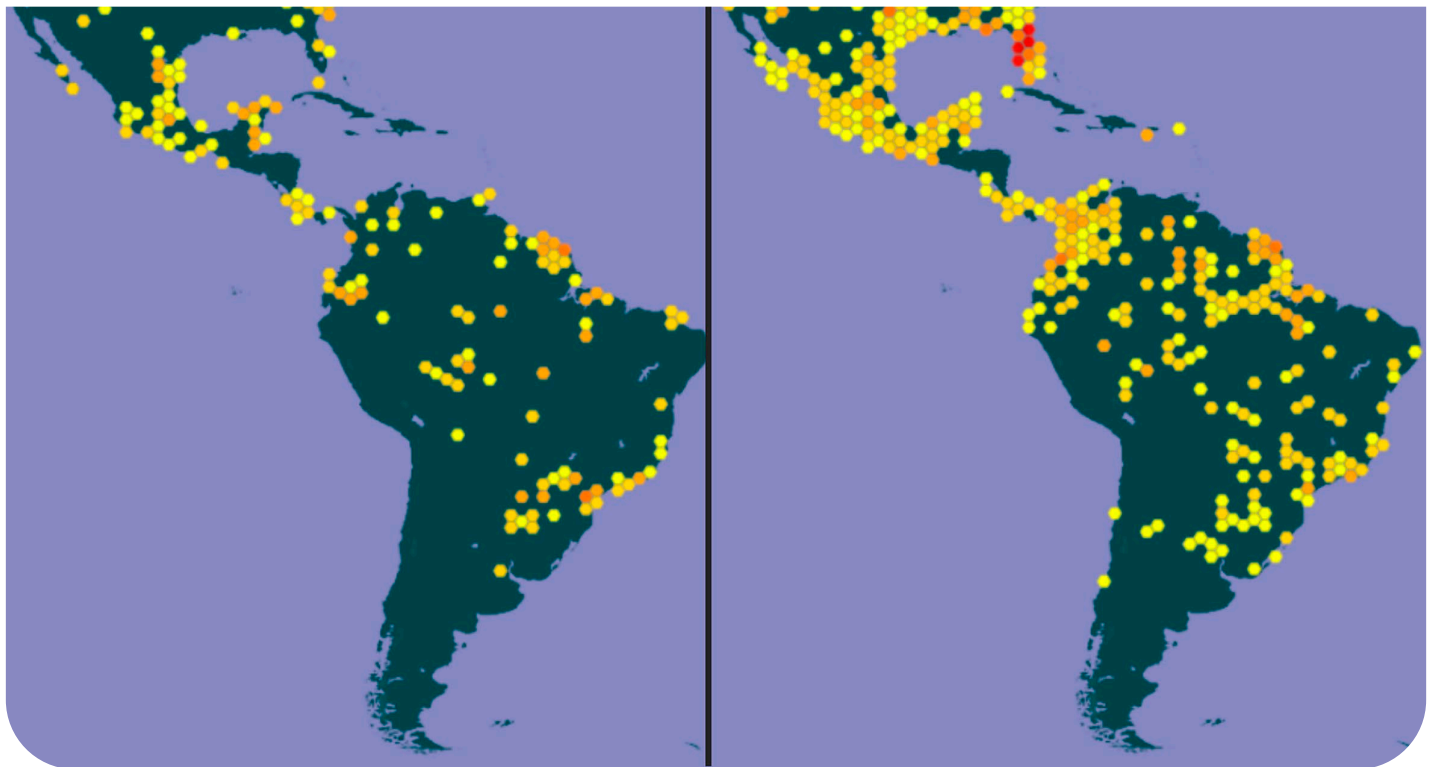


Figura 2. Mapa comparativo de la presencia del mosquito *Anopheles* en Latinoamérica en dos periodos históricos: izquierda, 1985-2000 y derecha, 2001-2025. Fuente: Global Biodiversity Information Facility, Backbone Taxonomy.



Larva de mosquito *Anopheles*. Fuente: <http://bit.ly/4hl1jjL>

del juego para el mundo microscópico, alterando la forma en que los microorganismos se comportan, se propagan y nos infectan. Desde hongos que evolucionan para tolerar la temperatura corporal humana hasta mosquitos que expanden sus territorios a nuevas latitudes, estos seres diminutos muestran una asombrosa capacidad de adaptación.

Es importante comprender los mecanismos de adaptación y las complejas interacciones entre el clima, los patógenos y los

vectores. Si no actuamos y nos preparamos, el futuro podría traernos nuevas enfermedades emergentes y el resurgimiento de otras ya conocidas: un panorama que requerirá de la ciencia una capacidad de respuesta sin precedentes. El cambio climático no solo afecta nuestro planeta, también desafía nuestra salud a nivel fundamental. Entender estos cambios nos permitirá anticipar, prevenir y mitigar futuras amenazas infecciosas en un planeta en incesante transformación.

Bibliografía

- Casadevall, A. (2020). Climate change brings the specter of new infectious diseases. *The Journal of Clinical Investigation*, 130(2), 553–555.
- Seidel, D. *et al.* (2024). Impact of climate change and natural disasters on fungal infections. *The Lancet Microbe*, 5(7), e476–e491.
- De Souza, W. M., y Weaver, S. C. (2024). Effects of climate change and human activities on vector-borne diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 22(8), 476–491.

Oscar I. García-Garza es estudiante de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Monterrey, Nuevo León, México) | oivan03@gmail.com | <https://orcid.org/0009-0009-5311-0995>

Hiram Villanueva-Lozano es profesor-investigador del Departamento de Medicina Interna, Servicio de Infectología del Hospital Regional ISSSTE (Monterrey, Nuevo León, México) | dr.villanueval@hotmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-4121-2240>

Rogelio de J. Treviño-Rangel es profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Monterrey, Nuevo León, México) | rogelio.trevinoran@uanl.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0002-4433-6556>

