

**Efectes del canvi climàtic en la transmissió de virus:
un repte global per a la salut pública**

*Efectos del cambio climático en la transmisión de virus:
un reto para la salud pública*

*Effects of climate change on virus transmission:
a challenge for public health*

Enric Carbasa, Yuxin Jiang i Josep Suau

Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona

*E-mail: ecarbasa8@alumnes.ub.edu; yjiangli7@alumnes.ub.edu;
jsuauc16@alumnes.ub.edu*

Resum

El canvi climàtic, impulsat per l'activitat humana i la societat industrial, és una de les amenaces més significatives pel planeta actualment, amb efectes que van des de l'augment de les temperatures globals fins a la desestabilització dels ecosistemes. En el cas d'aquest article, ens centrarem més en una de les conseqüències menys tractades: l'efecte del canvi climàtic sobre els mecanismes de propagació vírica. Principalment, això és degut a la migració de moltes espècies animals, obligades a abandonar el seu hàbitat per les alteracions del clima per tal de trobar-ne un de més favorable, i que poden portar malalties desconegudes que podrien ser transmeses a humans. Entre aquestes espècies, és interessant destacar a uns dels vectors vírics principals, els mosquits, ja que, gràcies a la tropicalització de molts ecosistemes provocada per l'escalfament global, s'afavoreix molt la seva expansió, i en conseqüència també la propagació de malalties que aquests transmeten. A més, hi ha altres conseqüències que s'han de tenir en compte, com el desglaç del permafrost. Aquest conté virus antics potencialment infecciosos contra els quals el sistema immunològic humà no està preparat, i que podrien ser alliberats per l'augment de les temperatures. Per totes aquestes raons, és interessant aprofundir en la relació entre el canvi climàtic i els virus, per tal de poder idear mecanismes de prevenció eficaços.

Paraules clau: canvi climàtic, zoonosi, vector víric, mosquits, permafrost.

Resumen

El cambio climático, impulsado por la actividad humana y la sociedad industrial, es una de las amenazas más significativas para el planeta actualmente, con efectos que van desde el aumento de las temperaturas globales hasta la desestabilización de los ecosistemas. En el caso de este artículo, nos centraremos en una de las consecuencias menos tratadas: el efecto del cambio climático sobre los mecanismos de propagación vírica. Principalmente, esto se debe a la migración de muchas especies animales, obligadas a abandonar su hábitat por las alteraciones del clima para encontrar uno más favorable, y que pueden traer enfermedades desconocidas que podrían ser transmitidas a humanos. Entre estas especies cabe destacar a los mosquitos como uno de los principales vectores víricos, ya que, gracias a la tropicalización de muchos ecosistemas provocada por el calentamiento global, se favorece mucho su expansión y la propagación de enfermedades que estos transmiten. Además, hay otras consecuencias a tener en cuenta, como el deshielo del permafrost. Éste contiene virus antiguos potencialmente infecciosos contra los que el sistema inmunológico humano no está preparado, y que podrían ser liberados por el aumento de las temperaturas. Por todas estas razones, es interesante profundizar en la relación entre el cambio climático y los virus, a fin de poder idear mecanismos de prevención eficaces.

Palabras clave: cambio climático, zoonosis, vector vírico, mosquitos, permafrost.

Summary:

Climate change, driven by human activity and industrial society, is one of the most significant threats that the planet is facing today, with effects ranging from rising global temperatures to the destabilization of ecosystems. In the case of this article, we will focus more on one of the less discussed consequences: the effect of climate change on the mechanisms of viral spread. Mainly, this is due to the migration of many animal species, forced to leave their habitat due to climate changes to find a more favorable one, and which can carry unknown diseases that could be transmitted to humans. Among these species, it is interesting to highlight one of the main viral vectors, mosquitoes, since, thanks to the tropicalization of many ecosystems caused by global warming, their expansion is greatly favored, and consequently also the spread of diseases that they transmit. In addition, there are other consequences that must be considered, such as the thawing of the permafrost. It contains potentially infectious old viruses against which the human immune system is not prepared, and which could be released by rising temperatures. For all these reasons, it is interesting to dig deeper into the relationship between climate change and viruses in order to prepare effective prevention mechanisms.

Keywords: climate change, zoonosis, viral vector, mosquitoes, permafrost.

El canvi climàtic

Ja fa dècades que som conscients de l'existència del canvi climàtic al nostre planeta i de les seves conseqüències, com serien la pujada de les temperatures a nivell global i del nivell del mar o l'augment de les sequeres com les que hem viscut recentment, que acaben provocant la destrucció d'ecosistemes i la migració d'espècies animals cap a hàbitats més favorables. Però, el que no s'havia tingut en compte fins recentment, sobretot després de la pandèmia global provocada per SARS-CoV-2, és que la migració d'aquestes pot arribar a causar la introducció de virus desconeguts a zones poblades per humans, amb la possibilitat de provocar un salt d'aquest entre espècies, fet que és conegut com efecte "spillover" (desbordament).

Per tant, a causa de la crisi climàtica, els virus tenen davant seu una oportunitat sense precedents per expandir-se més enllà de les regions on són típicament endèmics. Precisament pel risc que comporta obrir pas als virus que provoquen malalties tan potencialment letals com la ràbia o perjudicials com la febre groga, és imperatiu conèixer les vies i estratègies que aquests virus, ajudats per l'escalfament global, poden desenvolupar per establir-se a les societats occidentals.

Migració de les espècies

Degut a les variacions dels ecosistemes, molts d'animals es veuen afectats, com per exemple per una pèrdua de la seva font d'aliment principal, i es veuen obligats a migrar a zones més favorables per la seva supervivència.

Pel que fa a les zones afectades, les regions més preocupants són les de clima tropical ja que són les que estan sent més afectades per l'augment de temperatures. A més, al presentar una alta taxa de biodiversitat, hi trobarem un major nombre d'espècies afectades poc conegudes de les quals no coneixem el seu viroma, per tant si aquestes es veuen obligades a migrar a territoris propers amb població humana, es podria donar una transmissió.

Respecte a espècies afectades, cal destacar que també s'han de tenir en compte les capacitats que tenen aquestes per migrar, ja que, per exemple, tenen més facilitat espècies d'aus, insectes o ratpenats que tenen la capacitat de volar que no altres mamífers més semblants a nosaltres que en un principi haurien de ser més preocupants des d'un punt de vista de zoonosi. Per tant, hauríem de tenir més al punt de mira aquests grups d'animals que tenen una major habilitat per dispersar-se, i per això hem decidit aprofundir més en el paper d'un dels vectors vírics principals: els mosquits.

La desforestació i el canvi climàtic han provocat un augment en la població de mosquits en els darrers anys. Els estius més llargs i càlids, juntament amb ones de calor i inundacions cada cop més freqüents, han permès que els mosquits es propaguin en regions on abans no eren comuns. Això ha portat a que diferents espècies de mosquits es trobin en zones tropicals, subtropicals i temperades d'arreu del món.

Malalties transmeses per mosquits

Els arbovirus són virus transmesos per artròpodes, com els mosquits, les paparres o les mosques. Aquests constitueixen una gran diversitat de virus, que inclou les famílies *Flaviviridae*, *Togaviridae* i *Bunyaviridae*, entre altres.

Els mosquits, aquests petits i molestos que zumben al voltant dels nostres caps en les càlides nits d'estiu, poden ser molt més que una simple molèstia. Són vectors competents per diversos patògens que poden causar malalties greus en humans i animals. A més a més, tenen la capacitat de resistir a les infeccions causades pels virus que transmeten. Entre aquestes malalties es troben la chikungunya, el dengue, la Zika, la malària i la febre del Nil Occidental, entre altres.

Els brots de malalties transmeses per mosquits poden ser locals, originat per persones que han viatjat a zones endèmiques. Les femelles dels mosquits necessiten els nutrients de la sang els vertebrats per produir els seus ous i, quan els piquen, transfereixen gran quantitat de partícules virals que es troben en la seva saliva. Tanmateix, aquests brots també poden ser autòctons, originant-se en poblacions locals de mosquits infectats.

Vectors principals de malalties

Els mosquits més importants com a vectors de malalties pertanyen als gèneres *Aedes*, *Culex* i *Anopheles*. El canvi climàtic ha tingut un paper crucial en la propagació i proliferació d'aquests vectors, creant condicions més favorables per la seva reproducció i expansió geogràfica, generant un gran impacte en la propagació d'aquestes malalties infeccioses.

Un dels virus més rellevants transmesos per mosquits és el virus del Nil Occidental (WNV), que pertany al gènere *Flavivirus* i és transmès per mosquits del gènere *Culex*. Aquest virus pot infectar mamífers, com els humans i cavalls. La seva expansió s'ha atribuït al canvi climàtic, així com altres efectes humans directes, com l'ús de noves terres o canvis en la població humana. L'aparició dels brots de WNV a Europa s'ha relacionat estretament amb les temperatures elevades a primavera i estiu, així com amb sequeres a l'estiu i hiverns càlids.

Un altre exemple important és el mosquit *Aedes*, que és un vector clau per a malalties com el dengue, la chikungunya i el virus Zika. En el cas de Zika, els reservoris naturals del qual són primats no humans de les selves pluvials dels tròpics, és un exemple paradigmàtic de virus zoonòtic que podria començar a instal·lar-se a Europa, Amèrica del Nord i Àsia septentrional en els pròxims decennis.

El virus del Zika causa un quadre febril agut acompanyat de cefalea, erupcions cutànies i artritis que es resol en una setmana. No obstant això, les seves conseqüències més preocupants afecten les embarassades i els seus embrions, ja que el virus té efectes teratogènics sobre el sistema nerviós central del fetus, produint casos de microcefàlia, defectes oftalmològics i audius i malformacions cerebrals

Prediccions de futur

Per al 2050 es preveu que, amb l'increment de les temperatures i l'aparició de nínxols ecològics susceptibles de ser ocupats pels esmentats vectors, més de 1300 milions de noves persones estiguin exposades al Zika a Amèrica del Nord, Europa i Àsia, a més d'altres 1000 milions més a les regions endèmiques del virus. És de remarcar que les regions amb més aiguamolls, rius i pantans, llocs comuns de cria de mosquits, com Itàlia, França (on ja hi ha casos), Espanya i Turquia, siguin les més afectades. S'estima que aquest tipus de territoris serà el més exposat si l'evolució del clima segueix la tendència actual, però, si s'observa un escenari pessimista, la demografia afectada serà més extensa encara.

No obstant això, l'alteració en els patrons climàtics està donant lloc a un procés de tropicalització de vastes regions d'Estats Units, Europa i Àsia, que incrementarà el seu abast en les pròximes dècades. Això significa que molts territoris podran començar a sostenir una població de vectors molt superior a l'actual. En conseqüència, els canvis en els patrons climàtics que afecten i afectaran al món beneficiaran enormement la propagació de diverses febres hemorràgiques virals, així com el dengue o el Zika, malalties potencialment letals produïdes per virus de les famílies *Flaviviridae*, *Bunyaviridae*, *Reoviridae*, i *Togaviridae*.

En aquest context, cal destacar que no tots els mosquits tenen la capacitat de colonitzar noves regions de manera autònoma. La majoria de mosquits tenen una capacitat de vol limitada, la qual cosa els permet moure's només a distàncies curtes de pocs quilòmetres. Així doncs, la capacitat dels mosquits per actuar com a vectors d'arbovirus i colonitzar noves regions es veu facilitada per la mobilitat d'altres espècies més grans, com les aus migratòries i els mamífers.

Ja se sap que molts d'aquests mosquits han arribat a diferents zones aprofitant el trànsit de mercaderies i persones fruit de la globalització o sent transportats per les aus migratòries que reposen als aiguamolls d'Europa i Amèrica del Nord, especialment als del sud d'Espanya.

Conseqüències inesperades de l'aliança entre virus i canvi climàtic

Zoonosi

El terme zoonosi procedeix del grec i designa la transferència d'una malaltia típicament pròpia d'un mamífer vertebrat a l'ésser humà. Arrel de l'augment de la migració de espècies animals, també hi ha un augment del nombre d'esdeveniments zoonòtics, ja que alguns dels patògens que presenten aquestes tenen la capacitat de fer el salt entre espècies i infectar humans, per tant si aquestes migracions tenen lloc a regions amb alta densitat de població és més probable que es transmetin aquests virus emergents.

Un clar exemple d'això és el SARS-CoV-2, ja que es creu que entre els humans i els ratpenats hi ha un intermediari, les civetes (felins similars a les genetes). Per tant, també es podria donar el cas de que un mosquit d'origen africà amb un viroma desconegut i potencialment zoonòtic migrés al mediterrani per l'augment de temperatures, infectés a un porc destinat al consum humà, i que després aquest infectés a una població.

Biol. on-line: Vol. 12, Núm. 1 (Febrer de 2023)**ISSN: 2339-5745 online**

Hi han molts més altres virus que provenen d'animals, com el VIH que prové del virus de la immunodeficiència de simis, la ràbia, a través de mamífers salvatges infectats, o el dengue, que es transmet per picades de mosquit. El més destacable entre aquests grups de virus és que tots són altament perillosos per a l'ésser humà, ja que al no tenir una immunitat innata contra aquests, el nostre sistema immune no té elements de defensa o respon de manera exagerada, empitjorant encara més la situació. Per tant, el fet de que els vectors d'aquests virus migrin degut al canvi climàtic fa que més zones del nostre planeta siguin més susceptibles a aquestes infeccions, posant en perill a poblacions que mai han estat exposades a aquest patogen.

Sota el permafrost

Hi ha una capa de la Terra, en les regions més remotes i septentrionals de Canadà i Rússia, que roman congelada tot l'any. Es coneix com a permafrost i amaga una perillosa amenaça. El 2022, un equip de científics va extreure una mostra d'aquesta capa en la qual va trobar un conjunt de virus desconeguts d'entre 27.000 i 48.500 anys d'antiguitat. Es va descobrir que es tractava de virus gegants dels gèneres Pandoravirus, Mimivirus i Asfarvirus. Sabent que aquests grups tenen una tendència a parasitar protists com Acanthamoeba, els investigadors van voler provar el seu potencial infecció. Malgrat portar tant de temps sota el gel, tots els virus van ser perfectament capaços d'infectar i prosperar en el protozou. A més a més, en la mostra del permafrost es van trobar virus eucariotes que infecten vertebrats i humans, com poxvirus i herpesvirus. Es dedueix d'aquest descobriment que tots aquests virus podrien tenir el mateix poder infecció que els que tenen la facultat d'envair cèl·lules d'Acanthamoeba, la qual cosa resulta alarmant, ja que seria desastrós si arribessin a un nucli poblacional després d'una eventual i consistent descongelació del permafrost a causa del canvi climàtic.

Una resposta exagerada

Tanmateix, el més inquietant d'aquests virus és la seva capacitat de mutació. A diferència de les bacteris del permafrost, que podrien ser tractades amb antibiòtics convencionals, els virus tenen una taxa de mutació excepcionalment alta. Aquesta característica els fa especialment perillosos, ja que poden modificar ràpidament les dianes moleculars que posseeixen de vacunes i antivirals, fent que aquests siguin menys efectius i, fins i tot, que quedin obsolets amb el temps. Per això, l'única eina per protegir-se davant de certs virus, a més de la prevenció, és el propi sistema immune. Però aquest pot resultar insuficient o, fins i tot, reaccionar exageradament davant un agent que li és completament desconegut. Exemple d'això últim és la tempesta de citocines, consistent en una retroalimentació positiva de citocines i cèl·lules immunes que pot portar al fracàs multiorgànic i a la mort, sospitosa d'haver produït la gran mortalitat que va caracteritzar la pandèmia d'Influenza A (Grip Espanyola) de 1918. Tot i que la probabilitat que un virus atàvic del permafrost causi una pandèmia és baixa. No obstant això, els científics insisteixen que la possibilitat se subestima imprudentment. De la mateixa manera, els virus endèmics de regions tropicals o subtropicals que, gràcies als vectors de transmissió, migren cap a zones on la població local mai ha estat exposada a ells també podrien incrementar la susceptibilitat a infeccions i causar tempestes de citocines i altres complicacions immunològiques.

Conclusions i perspectives de futur

És important adonar-se que el canvi climàtic és, almenys a curt termini, un futur inevitable degut a l'excés d'emissions i la mala gestió, i l'únic que podem fer arribats a aquest punt és mitigar òptimament el nostre impacte per reduir l'escalfament global, i així evitar el màxim possible el perjudici sobre els ecosistemes i l'extinció de les seves espècies.

L'augment de les temperatures i els canvis en els patrons de precipitació estan creant condicions més favorables per a la reproducció i l'expansió dels mosquits, fenòmens que augmenten el risc de transmissió de malalties en noves àrees i la possibilitat de produir-se epidèmies importants. Davant la imminent propagació de malalties víriques des dels tròpics cap a Europa, Amèrica del Nord i Àsia septentrional, és crucial preparar-se i protegir-se.

En conseqüència, si aquest *spillover* no es pot frenar a la vegada que el canvi climàtic, s'hauran de fer estudis per aprofundir i estudiar els virus més presents en les espècies que són més propenses a migrar, per tal de preparar mesures preventives, com vacunes, per evitar la propagació dels patògens més infecciosos. El control dels vectors ha estat una estratègia eficaç per reduir la prevalença de malalties transmeses per mosquits comparat amb fàrmacs i vacunes. Per tant, a més de prendre mesures per revertir el canvi climàtic, és fonamental investigar el viroma del permafrost, vigilar l'entrada de virus exògens a les societats occidentals i prendre precaucions per controlar els vectors de malalties víriques, especialment durant els períodes de major risc de contagi.

Bibliografia:

- Al-Eitan L. N., Alnimri M., Ali H. H., Alkhaldeh M., & Mihyar A. (2024). Mosquito-borne disease: assessing risk strategies to control their spread in the Middle East. *Journal Of Biosafety And Biosecurity* 6(1): 1-12.
- Alempic J.-M., Lartigue A., Goncharov A.E., Grosse G., Strauss J., Tikhonov A.N., Fedorov A.N., Poirot O., Legendre M., Santini S. (2023) An Update on Eukaryotic Viruses Revived from Ancient Permafrost. *Viruses* 15: 564.
- Carlson C. J., Albery G. F., Merow C., Trisos C. H., Zipfel C. M., Eskew E. A. & Bansal S. (2022). Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature* 607: 555-562.
- Dennington N. L., Grossman M. K., Ware-Gilmore F., Teeple J., Johnson L. R., Shocket M. S., McGraw E. A., & Thomas M. B. (2023). Phenotypic adaptation to temperature in the mosquito vector, *Aedes aegypti*. *Global Change Biology* 30(1).
- Ellwanger J.H., Kulmann-Leal B., Kaminski V.L., Valverde-Villegas J.M., Veiga A.B.G.D., Spilki F.R., Fearnside P.M., Caesar L., Giatti L.L., Wallau G.L., Almeida S.E.M., Borba M.R., Hora V.P.D., Chies J.A.B. (2020). Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 17: 92-101.

- Erazo D., Grant L., Ghisbain G., Marini G., Colón-González F. J., Wint W., Rizzoli A., Van Bortel W., Vogels C. B., Grubaugh N. D., Mengel M., Frieler K., Thiery W., & Dellicour S. (2024). Contribution of climate change to the spatial expansion of West Nile virus in Europe. *Nature Communications* 15(1).
- George A. M., Ansumana R., De Souza D. K., Niyas V. K. M., Zumla A., & Bockarie M. J. (2024). Climate change and the rising incidence of vector-borne diseases globally. *International Journal Of Infectious Diseases* 139: 143-145.
- Legendre M., Lartigue A., Bertaux L., Jeudy S., Bartoli J., Lescot M., Alempic J.-M., Ramus C., Bruley C., Labadie K. (2015) In-depth study of Mollivirus sibericum, a new 30,000-y-old giant virus infecting Acanthamoeba. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 327-335.
- Montaño V. M., Méndez Y. A., Montoya C., Urcuqui-Inchima S., Velilla P. A., & Cardona W. D. (2022). Implicaciones de los virus Zika y Chikungunya en el semen durante la transmisión sexual. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 74: 692-722.
- Plowright R., Parrish C., McCallum H. (2017) Pathways to zoonotic spillover. *Nature Reviews Microbiology* 15: 502–510.
- Rezza G. (2024). Climate change and the spread of Aedes mosquito-borne viruses in Europe. *Pathogens And Global Health* 1-2.
- Ryan S.J., Carlson C.J., Tesla B. (2021) Warming temperatures could expose more than 1.3 billion new people to Zika virus risk by 2050. *Global Change Biology* 27: 84-93.
- Informe epidemiológico sobre la situación de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo en España. Años 2016 a 2022. Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III.