



Investigaciones Geográficas (Esp)
ISSN: 0213-4691
ISSN: 1989-9890
investigacionesgeograficas@ua.es
Universidad de Alicante
España

¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica

Gutiérrez-Hernández, Oliver; García, Luis V.

¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica

Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 73, 2020

Universidad de Alicante, España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17664443002>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica

Do weather and climate influence the distribution of the novel coronavirus (SARS CoV-2)? A review from a biogeographical perspective

Oliver Gutiérrez-Hernández olivergh@uma.es

Universidad de Málaga, España

Luis V. García lv.garcia@csic.es

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España

Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 73, 2020

Universidad de Alicante, España

Recepción: 02 Abril 2020
Aprobación: 13 Mayo 2020

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17664443002>

Resumen: El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró pandemia global el brote de la enfermedad COVID-19, producida por el nuevo coronavirus SARS CoV-2. En este artículo se efectúa una revisión de las contribuciones científicas publicadas hasta la fecha que relacionan las condiciones atmosféricas con la distribución del SARS CoV-2. La mayor parte de ellas concluyen que existe cierta influencia del tiempo atmosférico y/o el clima en la distribución y el progreso de la COVID-19. En concreto, un ambiente fresco y seco, en el contexto de un clima mesotérmico, parece el más idóneo para la expansión del SARS CoV-2. Sin embargo, un número significativo de estudios revisados adolece de diseños de investigación inadecuados, lo que hace muy difícil aislar de forma fehaciente el efecto genuino de las condiciones atmosféricas en la propagación de la enfermedad de otros efectos, incluidos los posibles artefactos derivados de la prevalencia observada, la dependencia espacial y temporal de los datos y la propia geografía humana: conectividad geográfica, movilidad, sistema sanitario, etc. Se concluye que sólo existen indicios, no evidencia, de que las condiciones atmosféricas pueden llegar a explicar una fracción muy limitada de la dinámica espaciotemporal del SARS CoV-2.

Palabras clave: geografía médica, biogeografía, patogeografía, bioclimatología, enfermedades, pandemia, COVID-19.

Abstract: On 11 March 2020, the World Health Organization (WHO) declared the outbreak of the disease COVID-19, caused by the new coronavirus SARS CoV-2, to be a global pandemic. This article reviews the scientific contributions released to date that relate atmospheric conditions (i.e. weather and climate) to the distribution of SARS CoV-2. Most of the contributions conclude that there is some influence of weather and climate on the distribution and progress of COVID-19. Specifically, a cool and dry environment, in the context of a mesothermal climate, seems to most favour the spread of the SARS CoV-2 coronavirus. However, a significant number of studies suffer from inadequate research designs, making it difficult to reliably isolate the genuine effect of atmospheric conditions on disease spread from other effects, including potential artefacts derived from observed prevalence, spatial and temporal dependence, and human geography (such as geographical connectivity, population mobility, and health system). We conclude that there are only indications, rather than evidence, that atmospheric conditions may explain a limited part of the space-time dynamics of SARS CoV-2.

Keywords: medical geography, biogeography, pathogeography, bioclimatology, diseases, pandemic, COVID-19.

1. Introducción

1.1. Fundamentos biogeográficos del problema

Los coronavirus son virus que causan enfermedades respiratorias de distinta gravedad (Ksiazek et al., 2003; Peiris et al., 2003). El nuevo coronavirus (SARS CoV-2), probablemente de origen animal (Andersen, Rambaut, Lipkin, Holmes, & Garry, 2020; Lam et al., 2020; X. Li et al., 2020), produce la enfermedad COVID-19 (WHO, 2020a), cuyos síntomas no son específicos, pudiendo variar el desarrollo de la enfermedad desde un carácter asintomático hasta la neumonía grave y la muerte (Wu, Wu, Liu, & Yang, 2020).

La enfermedad COVID-19 fue detectada en diciembre 2019 en la ciudad china de Wuhan (Hui et al., 2020; Lau et al., 2020; X. Li et al., 2020), la cual fue confinada por las autoridades cuando el brote se convirtió en epidemia (WHO, 2020b). El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (WHO, en su siglas en lengua inglesa) declaró el brote de COVID-19 pandemia global (WHO, 2020c). Actualmente, el virus se encuentra ampliamente distribuido por la mayoría de los países del mundo (WHO, 2020d) y parece evidente que no sigue un patrón aleatorio de distribución geográfica (Kamel & Geraghty, 2020).

La explicación y predicción de la distribución geográfica de la mayoría de los organismos que causan enfermedades en humanos es un asunto que está aún lejos de resolverse (Murray et al., 2015). Tradicionalmente, desde la geografía humana, el estudio se ha llevado a cabo a través de la geografía médica, que estudia la distribución geográfica de las enfermedades y los factores ambientales que influyen en su propagación, así como los efectos del medio ambiente en la salud de las personas (Gregory, Johnston, Watts, & Whatmore, 2009).

En los últimos años, ha emergido una nueva disciplina, la patogeografía, cuyo campo de estudio se circunscribe a la explicación de los factores que promueven la aparición y propagación de enfermedades infecciosas (Murray, Olivero, Roche, Tiedt, & Guégan, 2018). La patogeografía se inserta en la biogeografía, ciencia que estudia la distribución de los seres vivos en el espacio y en el tiempo, y que actualmente se despliega como un marco general para el estudio de la biodiversidad en el cambiante Antropoceno (Gutiérrez-Hernández, 2019).

La biogeografía (y la patogeografía) está cada vez más orientada hacia la búsqueda de patrones espaciotemporales de distribución (Lomolino, Riddle, & Whittaker, 2016), destacando entre los factores explicativos subyacentes los biometeorológicos y los bioclimáticos. Pero la relación entre las condiciones atmosféricas y la salud no representa ninguna novedad; de hecho, hunde sus raíces en los orígenes de la propia medicina clásica y uno de sus padres putativos, Hipócrates (Siglo V a. C., 460 a. C.), que en su obra *De la atmósfera y de los aires, de las aguas y de los lugares*, relaciona fenómenos meteorológicos y condiciones sanitarias.

Desde entonces esta preocupación será recurrente, como señalan Gil & Olcina (2017).

No se está sólo ante un debate académico. Esta preocupación por la biometeorología y la bioclimatología se ha extendido a la práctica médica (Martínez-Carpio, 2003). Desde esta perspectiva, y de acuerdo con Martínez-Carpio (2003), la biometeorología clínica estudia la repercusión de las condiciones atmosféricas sobre nuestro cuerpo. Así, la etiopatogenia de la mayoría de las meteoropatías es un hecho demostrado, especialmente cuando concurren eventos extremos (Díaz et al., 2005, 2002). Por su parte, la bioclimatología clínica estudia las asociaciones entre ciertas enfermedades y cada una de las estaciones del año, y tiene en cuenta factores fisiológicos y ambientales. Entre los segundos, los agentes patógenos también se encuentran sometidos a las variaciones climáticas y estacionales. Sin embargo, los estudios bioclimáticos son complejos, requieren tiempo y sistematicidad, y siempre puede resultar controvertida una precipitada atribución a los efectos del clima.

1.2. Investigaciones previas a la aparición del nuevo coronavirus SARS CoV-2

En noviembre del año 2002, se produjo un brote del síndrome respiratorio agudo severo (SARS) en la provincia de Cantón, el sureste de China (Stadler et al., 2003). Tan et al. (2005) encontraron que la temperatura ambiental óptima asociada a los casos de SARS estaba entre 16°C y 28°C. Por otra parte, estudiaron la posible influencia del clima en el sistema inmunológico humano como consecuencia de una ola de frío que condujo a un aumento de los casos de SARS. Los autores sugirieron que su estudio podría proporcionar evidencias sobre la existencia de una mayor probabilidad de ocurrencia del SARS si llegaran a concurrir unas circunstancias ambientales similares, si bien los investigadores también admitieron que para alcanzar dichas conclusiones de forma consistente eran necesarias investigaciones adicionales que las confirmasen.

Chan et al. (2011) estudiaron la relación entre el SARS CoV y los factores ambientales en condiciones controladas. Analizaron la estabilidad del virus a diferentes temperaturas y humedades relativas sobre superficies sólidas. Descubrieron que, en estas superficies, el virus mantiene su viabilidad durante más de 5 días a temperaturas entre 22 y 25 °C y una humedad relativa del 40-50%, esto es, valores típicos de los ambientes mantenidos con aire acondicionado. Sin embargo, la viabilidad del virus se pierde rápidamente a temperaturas más elevadas y con mayor humedad relativa. Concluyen que las condiciones ambientales idóneas para la preservación del SARS CoV resultan de la combinación de una temperatura relativamente baja con una humedad ambiental también baja, lo cual podría facilitar su transmisión comunitaria en áreas subtropicales (como Hong Kong), especialmente durante la primavera y en ambientes con aire acondicionado. Dichas preferencias ambientales explicarían también, según los mismos autores, el que, en algunos países asiáticos ubicados en áreas tropicales, con ambientes caracterizados por

una alta temperatura y una alta humedad relativa, no se produjeran grandes brotes comunitarios de SARS.

Posteriormente, diferentes investigaciones han abundado en la importancia de los factores ambientales, destacando nuevamente la temperatura y la humedad como los factores que más afectan a la supervivencia del SARS-CoV, MERS-CoV y el virus de la gripe, y que, conjuntamente, pueden condicionar los mecanismos indirectos de contagio (Otter et al., 2016; van Doremalen, Bushmaker, & Munster, 2013).

1.3. Objetivos e hipótesis generales

En este artículo se revisa la literatura científica publicada hasta la fecha sobre la influencia de las condiciones atmosféricas (tiempo y clima) en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2). En particular, interesa el efecto de la temperatura y humedad.

Dado que la presente revisión se sitúa en la intersección entre la biología, la epidemiología y la geografía, existen un conjunto de asunciones y cuestiones de especial interés a la hora de analizar y explicar la propagación del nuevo coronavirus (SARS CoV-2).

1. a) No aleatoriedad de la distribución. En relación con el patrón de distribución espacial, interesa elucidar la existencia o no de aleatoriedad espacial completa. Así, se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa: el patrón observado no podría ser una de las tantas versiones posibles de una aleatoriedad espacial completa.
2. b) Dispersión global causada por el hombre. Se asume que la distribución geográfica del nuevo coronavirus, de alcance global, es causada directamente por el ser humano el cual, como huésped, ha movilizado el virus por todos los lugares del planeta donde ha sido detectada la COVID-19, protagonizando mecanismos directos e indirectos de contagio. Destaca el rol crucial de los principales medios de transporte como mecanismo de propagación a larga distancia; y, por otro lado, cómo la densidad de población (residente, flotante) interviene en los contagios directos en la corta distancia. La movilidad de la población es un vector geográfico decisivo.
3. c) Relevancia del contagio indirecto. Desde el punto de vista ambiental, se enfatiza la importancia del contagio indirecto en determinados ambientes y/o superficies contaminadas por el virus. A pesar de que los virus no se replican fuera de las células vivas, pueden persistir en superficies contaminadas y su persistencia se ve afectada notablemente por la temperatura y humedad (Hall, Douglas, & Geiman, 1980). Esta circunstancia es relevante en espacios interiores, como hospitales, donde se sabe que las superficies son vectores importantes en la transmisión de infecciones en el

entorno hospitalario y en la comunidad, habiéndose puesto de manifiesto la importancia de las tareas de desinfección (Brady, Evans, & Cuartas, 1990). Es asimismo relevante en espacios exteriores, donde también está demostrada la incidencia de los factores ambientales (Pirtle & Beran, 1991).

4. d) Factores ambientales de referencia. Entre los factores ambientales, interesa especialmente el efecto de las condiciones atmosféricas: tiempo y clima. El primero de ellos con referencia a la materialización del estado de la atmósfera durante un breve intervalo de tiempo; y, el segundo, con referencia a la recurrencia de los estados de la atmósfera, abstracción que conlleva la caracterización de situaciones típicas en el espacio y en el tiempo.
5. e) Efecto de las condiciones atmosféricas en la supervivencia del virus. Se asume que las condiciones atmosféricas pueden tener un efecto sobre la supervivencia y propagación del virus en espacios exteriores. Las investigaciones analizadas en este trabajo realmente están enfatizando el efecto de esta última asunción, por lo que finalmente también se discutirá con qué grado de certidumbre se articula esta asunción en un contexto en el que están operando todas las asunciones en mayor o menor medida. Este presupuesto vendría reforzado, entre otros factores, por el hecho de que las condiciones atmosféricas adecuadas para el SARS CoV-2 no deben diferir mucho de las encontradas en el SARS CoV.
6. f) Dependencia espacial y temporal de las observaciones. Por último, más allá de la estructura espacial, y en un marco general, se reconoce que la geografía y sus redes de reciprocidad hombre-medio puede dificultar el aislamiento del efecto que se pretende estudiar. Esto es, hay que admitir la posibilidad de incurrir en un razonamiento circular, dada la proximidad de las observaciones en el tiempo y en el espacio y la ausencia de la cobertura sistemática que requeriría un estudio espaciotemporal riguroso.

2. Metodología

En el presente trabajo se revisan las principales contribuciones científicas publicadas hasta la fecha, en relación con la influencia de los elementos de tiempo y clima sobre la distribución geográfica del nuevo coronavirus (SARS CoV-2).

Para ello, se han recuperado, en primer lugar, todas las referencias que contenían cualquiera de las denominaciones del SARS CoV-2, junto con términos relacionados con el tiempo y el clima o con alguno de sus elementos más significativos (como temperatura o humedad atmosférica), incluidas en revistas indexadas en la Web of Science (WOS), el mayor servicio en línea de información científica, y en PubMed, un motor de búsqueda de libre acceso que permite consultar los contenidos de bases

de datos médicas. En ambos casos, los artículos encontrados cumplen los estándares de calidad científica en lo relativo a los procesos de evaluación y publicación.

Por otro lado, dada la importancia y la velocidad de propagación del SARS CoV-2 durante el primer cuatrimestre del año 2020, muchos investigadores han decidido publicar sus investigaciones en formato de preimpresión (preprint), con objeto de facilitar la rápida transferencia de sus resultados de investigación. Hay que destacar que en los repositorios de preimpresión se publican investigaciones cuyos resultados todavía no han sido revisados por pares (peer review), dado que, en su mayoría, corresponden a investigaciones en marcha que se hacen públicas para facilitar la discusión, crítica y transferencia.

En relación con ello, se han consultado las últimas referencias sobre la materia publicadas en bioRxiv, medRxiv, SSRN, EcoEvoRxiv, arXiv y OSF Preprints. bioRxiv es un repositorio de preimpresión de acceso abierto para las ciencias biológicas. medRxiv es un servidor de preimpresión para las ciencias de la salud. SSRN (Social Science Research Network) es un sitio web, gestionado por Elsevier, dedicado a la difusión rápida de la investigación científica en las ciencias sociales y las humanidades. EcoEvoRxiv es un repositorio de investigación específico para trabajos relacionados con la ecología, la evolución y la conservación. arXiv está especializado en las prepublicaciones de artículos científicos en el campo de las matemáticas, física, ciencias de la computación y biología cuantitativa. OSF Preprints almacena preimpresiones de carácter multidisciplinar, así como postimpresiones y documentos de trabajo. Todos estos repositorios distribuyen manuscritos completos, pero — como se ha dicho— aún no evaluados formalmente por la comunidad científica. Aunque en muchos casos se trata de resultados provisionales o incompletos, muchos de ellos vienen avalados por grupos y científicos de primer nivel en sus respectivas disciplinas, razón por la cual se ha decidido incluirlos en la presente revisión.

Por último, también se han considerado algunos trabajos producidos y difundidos por instituciones oficiales españolas de reconocido prestigio, como es el caso del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

3. Resultados

3.1. Panorámica general de los resultados

En este apartado se analizan las características generales del conjunto de las publicaciones científicas revisadas (Figura 1). En el Anexo se presenta una tabla resumen recogiendo sus principales hallazgos (Tabla 1).

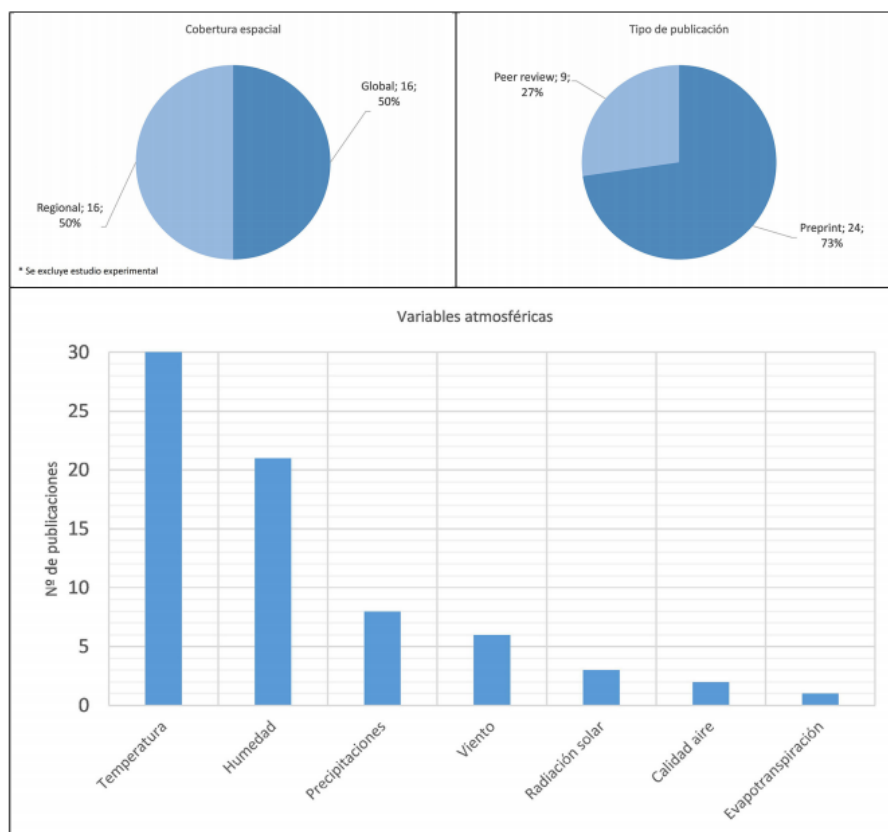


Figura 1
Resumen general del trabajo de revisión bibliográfica
Elaboración propia

Sobre un total de 33 publicaciones revisadas, 24 (72,7%) se han publicado en formato preprint (preimpresión) y 9 (27,2%) en formato peer review (revisado por pares). La mayor parte de los estudios revisados son observacionales, pues se basan en los registros estadísticos sobre el seguimiento de la COVID-19: casos acumulados, casos por intervalos de tiempo, número básico de reproducción (R_0), tasas de transmisión, mortalidad, etc. Estos registros, empleados como variable respuesta, se relacionan en los estudios revisados con datos relativos a las condiciones atmosféricas imperantes en los mismos sitios, los cuales se emplean como variables independientes. Entre estas últimas destacan, de mayor a menor frecuencia, las siguientes: temperatura (media, mínima, máxima, amplitud), humedad (absoluta y relativa), precipitaciones, radiación solar, viento y calidad del aire. Se emplean datos de temperatura en 30 (90,9%) de los artículos revisados, y datos de humedad en 21 (63,6%) de los mismos. En un número muy significativo de trabajos (9; 27,2%) también se emplean datos de precipitación y/o evapotranspiración, como subrogados o complementarios, para caracterizar las condiciones de humedad. En su mayor parte, las investigaciones revisadas registran los datos correspondientes al periodo de referencia y se basan en datos meteorológicos relativos a las condiciones atmosféricas de los meses de enero, febrero y marzo de 2020. Sin embargo, en varios trabajos los autores recurren a datos climáticos referidos a las condiciones medias de los

periodos de referencia estudiados. En buena parte de los trabajos revisados también se usan datos geográficos, demográficos, socioeconómicos, etc.

Entre los métodos estadísticos implementados en los estudios observacionales revisados, predominan los modelos lineales, desde los simples y sus extensiones, a los que consideran efectos fijos y efectos aleatorios. También se aplican pruebas no paramétricas, modelos autorregresivos y algoritmos basados en inteligencia artificial. A los estudios observacionales hay que sumar los basados en simulaciones y alguno llevado a cabo en condiciones controladas.

Con respecto a la cobertura espacial de los artículos revisados, exceptuando un único trabajo experimental, se ha encontrado el mismo número (16) de estudios con alcance global que de estudios de ámbito regional. Entre los primeros, en su mayor parte, la unidad espacial de información es el país (o Estado), y entre los segundos regiones, provincias o condados. También se revisan estudios basados en los datos de ciudades, y otros trabajos en los que se trabajan con cuadrículas que cubren de manera sistemática toda la superficie de la Tierra.

En lo que se refiere a la cobertura temporal de los estudios observacionales revisados y considerando únicamente los trabajos en los que se informa con claridad sobre este aspecto (22 artículos), se ha encontrado un periodo de observación promedio próximo a los 38 días (desde finales de enero hasta principios de abril), aunque el rango oscila entre los 2 y los 65 días de duración. En conjunto, las investigaciones revisadas abarcan el periodo que media entre la primera quincena de enero y la segunda quincena de abril de 2020. Casi un tercio de los artículos revisados (10) no informa con claridad acerca de las fechas de inicio y final del periodo de observación.

Por otra parte, aunque la mayor parte de los trabajos sostienen que variables como la temperatura y la humedad ambiental ejercen un efecto sobre la viabilidad del SARS CoV-2, se encuentran fuertes discrepancias cuando se trata de explicar la propagación geográfica de la COVID-19 a partir de los efectos las condiciones atmosféricas. Así, casi el 60% de los trabajos revisados enfatizan la influencia de las condiciones atmosféricas en la propagación del SARS CoV-2 frente a otros factores. Este porcentaje se reduce al 50% cuando los investigadores destacan la importancia de la componente estacional del clima sobre la propagación del SARS CoV-2. Por último, algunos trabajos proyectan (o extrapolan) sus resultados hacia el futuro, como ocurre con las investigaciones basadas en simulaciones epidemiológicas o modelos de envolturas bioclimáticas.

3.2. Investigaciones generales basadas en el nuevo coronavirus SARS CoV-2

Chin et al. (2020) avanzaron un estudio en condiciones controladas sobre la estabilidad del SARS-CoV-2 en diferentes condiciones ambientales. Encontraron que a 4 °C el virus es altamente estable durante un período prolongado. A 22°C observaron una reducción de su estabilidad tras una incubación de 7 días, no detectando virus infeccioso a esta temperatura al cabo de 14 días. A 37°C no pudieron detectar virus infeccioso más allá del

primer día, mientras que a 56°C no detectaron virus infeccioso después de una incubación de 30 minutos.

Las primeras investigaciones observacionales se realizaron con series temporales muy cortas. Así, AL-Rousan & Al-Najjar (2020) estudiaron las condiciones meteorológicas que se dieron entre el 22 de enero y el 4 de febrero de 2020, a través de un modelo autorregresivo. Encontraron un efecto muy significativo de las condiciones atmosféricas (radiación solar y temperatura) en la propagación del coronavirus en la mayoría de las provincias chinas. Paralelamente, y tomando como referencia las condiciones meteorológicas que concurren durante el brote de SARS en 2003, Bu et al. (2020) compararon las similitudes existentes con las condiciones meteorológicas que se habían producido durante las primeras semanas del brote por COVID-19 en Wuhan, y encontraron que las condiciones ambientales favorables para la supervivencia y propagación del virus eran: una temperatura entre 13 y 24°C, una humedad relativa entre 50 y 80%, y una precipitación mensual inferior a 30 mm. De acuerdo con estos mismos resultados las temperaturas superiores a 24 °C parecen ralentizar el progreso de la epidemia.

Wang, Tang, Feng, & Lv (2020) investigaron el efecto de la temperatura y la humedad del aire en la transmisión de la COVID-19 en 100 ciudades chinas usando los valores diarios del número efectivo de reproducción (R) del 21 al 23 de enero de 2020. Concluyen que una alta temperatura y una alta humedad reducen significativamente la transmisión del virus, lo que sugiere —a su juicio— que la llegada del verano y de la temporada de lluvias en el hemisferio norte podría reducir significativamente la transmisión de la COVID-19, como sucede con el virus de la gripe. Por su parte, Bannister-Tyrrell, Meyer, Faverjon, & Cameron (2020) estudiaron el efecto de la variación estacional en la incidencia de la COVID-19 y hallaron que las temperaturas medias más elevadas se asociaban con una menor incidencia de la enfermedad. Sin embargo, también constataron que la temperatura explicaba una cantidad modesta de la variación total en la incidencia de la COVID-19.

Sajadi et al. (2020) analizaron los datos meteorológicos de las ciudades del mundo con una propagación más significativa de la COVID-19, utilizando el conjunto de datos de re-análisis ERA-5, y contrastaron los resultados con áreas que no estaban afectadas o que no mostraban una propagación comunitaria significativa del virus. Comprobaron que la distribución de los brotes a lo largo de una restringida franja de latitud (30° a 50° N), temperatura (5 a 11°C) y humedad absoluta (4-7 g/m³) es consistente con el comportamiento de un virus respiratorio estacional. Neher et al. (2020) abundaron en la misma dirección y estudiaron cómo la componente estacional en la transmisibilidad podría modular una pandemia de SARS-CoV-2. Para ello, calibraron un modelo basado en datos previos, cuyos resultados proyectaron, en las regiones templadas del hemisferio norte, un pequeño pico a principios de 2020 y un pico más prominente en el invierno 2020/2021. Una vez más, los investigadores reconocen un alto grado de incertidumbre en los parámetros de sus modelos, si bien insisten en que el forzamiento

estacional en el SARS-CoV-2 debe tenerse en cuenta, como un efecto agregado, en el seguimiento posterior de la transmisión global.

Ficetola & Rubolini (2020) evaluaron los efectos de variables ambientales y socioeconómicas en los patrones globales de la dinámica del brote temprano de la COVID-19 desde enero a marzo de 2020, empleando los datos georreferenciados de la Universidad Jon Hopkins (Dong, Du, & Gardner, 2020). Encontraron que las variables climáticas fueron los mejores factores explicativos de la variación global en las tasas confirmadas de crecimiento de los casos de la COVID-19. Dichas tasas de crecimiento alcanzaron su punto máximo en las regiones templadas del hemisferio norte con una temperatura media en torno a 5°C y una humedad específica de 4-6 g/m³, mientras que disminuyeron en las regiones más cálidas y más frías. Llama la atención que, para explicar la propagación activa de un brote, en vez de emplear datos de las condiciones meteorológicas correspondientes al mismo intervalo de tiempo en el que se recabaron los datos epidemiológicos, los autores emplearan las variables climáticas (1970-2000) procedentes de Worldclim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017). Por su parte, Chen et al. (2020) desarrollaron un modelo meteorológico global en el que la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa, combinados, fueron los mejores predictores ambientales ($r^2 > 0,6$) de la transmisión del virus a escala global. En esta dirección, Holtmann et al. (2020) establecieron una asociación entre la temperatura ambiente y el tiempo necesario para diagnosticar 100 nuevos casos de COVID-19, después de que se hubieran diagnosticado los primeros 100 casos, en un país dado. Constataron, además, que las temperaturas ambientales bajas parecían asociarse con una propagación más rápida de la COVID-19 en la fase temprana del brote epidémico. Por su parte, Alvarez-Ramirez & Meraz (2020) también encontraron que la temperatura y la humedad influyen en la propagación del SARS-CoV-2).

China es, con diferencia, el país en el que más investigaciones se han llevado a cabo en busca de efectos significativos del tiempo y el clima sobre la distribución del nuevo coronavirus. A parte de las ya comentadas, relativas al inicio de la pandemia, se han publicado otras investigaciones con resultados no siempre concordantes entre sí. Así, Xie & Zhu (2020) consideraron los casos diarios de COVID-19 y los factores meteorológicos en 122 ciudades, entre el 23 de enero de 2020 y el 29 de febrero de 2020. Calibraron un modelo aditivo generalizado (GAM) para explorar la relación entre la temperatura media y los casos confirmados de COVID-19 a través de curvas de exposición-respuesta. En relación con los resultados obtenidos, los investigadores encontraron que la temperatura media parece tener una relación «lineal positiva» con el número de casos de COVID-19 hasta los 3° C, umbral a partir del cual la curva de respuesta es plana, resultado por el que los mismos autores reconocen que no hay evidencia que respalde que la incidencia de la COVID-19 crezca cuando la temperatura aumente por encima de este umbral. En otra investigación similar desarrollada en las mismas fechas, pero a nivel de provincia, Shi et al. (2020) encontraron que la mayor incidencia de COVID-19 se había producido en áreas con una temperatura en torno a los 10 ° C, y

una humedad absoluta de 7 g/m³. Ma et al. (2020) analizaron los datos diarios de muertes por COVID-19, parámetros meteorológicos y datos de contaminación del aire, desde el 20 de enero de 2020 hasta el 29 de febrero de 2020 en Wuhan, China. Como en la investigación anteriormente citada, aplicaron un modelo aditivo generalizado para explorar el efecto del rango de temperatura, humedad y temperatura diurna en los recuentos diarios de muertes de COVID-19. Encontraron que la mortalidad diaria de COVID-19 se asocia positivamente con la amplitud térmica diaria y negativamente con humedad absoluta. Gupta (2020) concluye todo lo contrario: cada 1° C de aumento de la temperatura por encima de 5° C se traduce en un descenso del 10% en la velocidad de transmisión de la COVID-19. Por su parte, Oliveiros et al. (2020) comprobaron que, entre el 23 de enero y el 1 de marzo de 2020, el tiempo de duplicación del número de casos está correlacionado positivamente con la temperatura e inversamente con la humedad en el mismo periodo de referencia, lo que podría sugerir una disminución en la tasa de progresión de COVID-19 con la llegada de la primavera y el verano al hemisferio norte.

En Estados Unidos, Bashir et al. (2020) analizaron la asociación entre la COVID-19 y los indicadores climáticos (temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima, lluvia, humedad promedio, velocidad del viento y calidad del aire) en la ciudad de Nueva York. Aplicando técnicas no paramétricas de correlación (Kendall, Spearman), hallaron que la temperatura promedio, la temperatura mínima y la calidad del aire presentaban una asociación significativa con la incidencia de COVID-19. Como en las investigaciones previas realizadas en China, los investigadores indican que no hay evidencia científica de que el clima cálido impida o ralentice la epidemia de COVID-19. Harbert, Cunningham, & Tessler (2020) modelizaron el problema a nivel de condado para el conjunto de los Estados Unidos, empleando un modelo de máxima entropía, similar a los que se analizarán en el apartado siguiente. Aunque hallaron más casos en áreas frías, concluyen que el clima puede no desempeñar un papel central en la distribución de la COVID-19 en EE. UU., y que debe asumirse que el SARS-CoV-2 puede extenderse a cualquier lugar del país, probablemente impulsado por factores más relacionados con la geografía humana.

En España, Oto-Peralías (2020) analizó —a nivel de provincia— la correlación entre los casos confirmados de COVID-19 y un conjunto de variables geográficas, meteorológicas y socioeconómicas. Encontró una relación negativa entre la temperatura promedio de los meses de febrero y marzo de 2020 y los casos de COVID-19 contabilizados el 1 de abril ($R^2=0,62$). La temperatura y la densidad de población, conjuntamente, explicarían hasta el 66% de la variación de los casos confirmados de COVID-19, mientras que el poder explicativo de las otras variables geográficas y socioeconómicas utilizadas fue mucho menor. Sin embargo, el propio autor admite cierta ambigüedad en sus resultados, pues también encontró que los cambios en la temperatura registrados en provincia a lo largo del periodo estudiado no estaban relacionados con los cambios en observados en la incidencia de COVID a lo largo

del mismo periodo. Ello genera dudas sobre los efectos del aumento estacional de la temperatura en la incidencia de la COVID. En la misma línea, en un trabajo elaborado conjuntamente por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (AEMET & ISCIII, 2020; ISCIII & AEMET, 2020) se relacionó el número de nuevos contagios diarios por 100.000 habitantes, acumulados a lo largo de 14 días, en las distintas comunidades autónomas españolas, con la temperatura promedio registrada en cada comunidad durante el mismo período. Se encontró que existe una relación negativa entre ambas variables, que se ajusta a un modelo exponencial, y que el patrón de relación se repite durante el período analizado, entre el 26 de marzo y el 5 de abril de 2020, con un $R^2=0,52$, en marzo, y un $R^2=0,62$, en abril. Dicha conclusión se recogió en una nota oficial titulada: «Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación de la enfermedad covid-19 y del virus SARS-CoV-2 en España» la cual fue ampliamente difundida por el ISCIII, la AEMET, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2020) y la mayor parte de los medios de comunicación. Por último, a nivel provincial, Briz-Redón & Serrano-Aroca (2020) analizaron la relación entre la incidencia de la COVID-19 y distintos factores ambientales, empleando técnicas de modelado espacio-temporal y considerando tanto efectos fijos como aleatorios. De acuerdo con sus resultados indican que no existe evidencia alguna de que las temperaturas medias, mínimas o máximas más elevadas puedan propiciar una reducción en los casos de COVID-19. No obstante, aclaran que sus resultados deben interpretarse con cautela, dada la incertidumbre existente en los propios datos y los factores de confusión y advierten del riesgo que entraña extrapolar conclusiones a otros rangos de temperatura, así como de la importancia de tener en cuenta los efectos no meteorológicos, espaciales y temporales. Paradójicamente, esta investigación basada en un diseño conceptual y en unos métodos estadísticos robustos, revisada por pares y publicada en una revista científica reconocida, ha tenido mucha menor repercusión en los medios de comunicación y en la sociedad que los resultados preliminares de la investigación citada con anterioridad.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de las investigaciones publicadas se centran en el rol de la temperatura y destacan la componente estacional en la propagación del virus, Bukhari & Jameel (2020) se preguntaron si la llegada del verano podría disminuir la pandemia, incorporando en su investigación la influencia de la humedad absoluta, además de la temperatura. Sus resultados indican que, hasta el 22 de marzo de 2020, el 90% de las transmisiones de la COVID-19 se habían producido en regiones con temperatura entre 3 y 17°C y humedad absoluta entre 4 y 9 g/m³. El número total de casos en países con una temperatura media de enero a febrero y principios de marzo >18°C y una humedad absoluta >9 g/m³ fue inferior al 6%. Por lo tanto, si la humedad juega algún papel en la transmisión del virus, su capacidad para limitar la transmisión podría ser insignificante hasta junio en la mayor parte de América del Norte y Europa, ya que la mayoría de estas

regiones podrían no experimentar una humedad absoluta de $>9\text{g/m}^3$, a diferencia de los países asiáticos, en los que se produce el monzón y podrían experimentar una disminución en la transmisión, ya que la humedad absoluta es generalmente $>10\text{g/m}^3$ durante esa época. En la misma dirección, Bhattacharjee (2020), tras estudiar la relación entre la incidencia de la COVID-19 y las variables ambientales (humedad, temperatura, viento) en varias ciudades de China y de Italia, encontró que la influencia de dichas variables no es muy significativa, por lo que concluye que no existen evidencia sólida para sostener que el SARS-CoV-2 pueda inactivarse durante el verano.

Notari (2020) encontró una relación entre la tasa de transmisión de COVID-19 y el descenso de la temperatura, si bien concluye que, para los países del hemisferio norte, la tasa de transmisión debería disminuir significativamente no sólo como resultado del incremento de la temperatura, sino principalmente por el efecto de fuertes políticas de contención y seguimiento. Baker et al. (2020), utilizando un modelo epidémico dependiente del clima para simular la pandemia del SARS-CoV-2, encontraron que si bien las variaciones en la humedad pueden ser importantes para las infecciones endémicas, durante la etapa pandémica de un patógeno emergente —como el SARS-CoV-2— el clima sólo puede influir de forma muy modesta en el tamaño y la duración de la pandemia, por lo que concluyen que, en ausencia de medidas de control efectivas, es muy probable que ocurran casos significativos en los próximos meses, incluso en climas cálidos y húmedos, con independencia de la influencia del clima en la transmisión del virus.

Brassey et al., (2020) señalan que, conforme a la evidencia encontrada en los estudios revisados por ellos, las condiciones frías y secas pueden influir en la propagación del SARS CoV-2, y que ello puede manifestarse a través de dos mecanismos: la estabilidad del virus y el efecto en el huésped. Concluyen que el efecto del clima puede ser de poca entidad, dado que las estimaciones publicadas están sujetas a sesgos significativos, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas sólidas de salud pública. Mecnas et al. (2020) observaron una gran homogeneidad en los resultados de los estudios revisados con respecto al efecto de la temperatura y la humedad sobre la viabilidad y transmisibilidad estacional de la COVID-19. Encontraron que, al menos, cuatro de las investigaciones revisadas tienen un alto riesgo de sesgo y hasta trece de ellas un riesgo moderado de sesgo, por lo que califican de baja la certeza de la evidencia científica sobre este hipotético efecto.

En definitiva, un número significativo de autores ha sugerido que los factores ambientales no contribuirán a reducir la propagación de la COVID-19 durante los meses de primavera y verano en la mayor parte del norte de Europa y América del Norte y que habría que esperar hasta entrado el verano para observar alguna evidencia constatable en tal sentido, si es que realmente existe y se logra poner de manifiesto. En todo caso, hay que significar que la mayoría de los investigadores advierte de que sus resultados no sugieren que COVID-19 no se propagará en regiones cálidas y húmedas y que, por tanto, deberían implementarse

intervenciones efectivas de salud pública en todo el mundo y bajo todos los escenarios estacionales para frenar la transmisión. De hecho, se ha demostrado que las intervenciones de salud pública sí se asocian de forma muy significativa con una reducción en el crecimiento de la epidemia (Jüni et al., 2020).

3.3. Modelos bioclimáticos de distribución potencial del nuevo coronavirus SARS CoV-2

Esta línea de investigación, eminentemente biogeográfica, se basa en la calibración y proyección de modelos de nicho ecológico (Peterson et al., 2011). Este paradigma asume una relación entre los nichos ecológicos de los seres vivos y sus distribuciones geográficas (Pulliam, 2000). Buena parte de su potencia radica en la capacidad para detectar patrones, espacializar los resultados y proyectarlos bajo diferentes escenarios (Franklin, 2009). Aunque los modelos de nicho ecológico operan con un amplio abanico de variables, en la práctica, los modelos que se analizan en la presente revisión están basados en datos bioclimáticos, por lo que se denominan modelos de envolturas bioclimáticas (Araújo & Peterson, 2012).

Bariotakis, Sourvinos, Castanas, & Pirintsos (2020) calibraron un modelo de máxima entropía (Phillips, Anderson, Dudík, Schapire, & Blair, 2017) basado en los registros de COVID-19 colectados entre el 02/02/2020 y el 04/03/2020, empleando como predictores las variables bioclimáticas de Worldclim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017). Nuevamente, y como se señala en la investigación de Ficetola & Rubolini (2020), los autores utilizaron datos climáticos como predictores de una variable dependiente que, caso de estar influenciada por las condiciones atmosféricas, lo estaría por las condiciones atmosféricas imperantes dentro del intervalo de tiempo específico en el que se recabaron los datos de la variable dependiente. Los modelos proyectados por estos investigadores, predicen, para el período entre el 2 de febrero y el 4 de marzo de 2020, la idoneidad del virus en el espacio ambiental del continente europeo, así como de amplios espacios del Medio Oriente y África del Norte, áreas costeras orientales de América del Norte, áreas costeras del sudeste de América Latina y dos áreas en el sur de Australia. Con la integración de nuevos casos, los autores consiguieron mejorar sus modelos, alcanzando un valor predictivo —que será discutido posteriormente— superior al 90%. Las principales variables predictivas que incorporaron en sus modelos fueron las relacionadas con la temperatura, principalmente la temperatura mínima del mes más frío (27,4% de importancia) y la temperatura media del trimestre más húmedo (20,9% de importancia).

En la misma línea, se encuentra la investigación llevada a cabo por Araújo & Naimi (2020), que calibraron un modelo de consenso a partir de los datos sobre la COVID-19 extraídos de los mapas de la Universidad John Hopkins (Dong et al., 2020) y desarrollaron un ensamblaje de modelos basados en 10 algoritmos de inteligencia artificial

a través de un flujo de trabajo desarrollado por los mismos autores en la librería sdm (Naimi & Araújo, 2016). En la versión inicial calibraron los modelos con datos de temperaturas (media, máxima, mínima) y precipitaciones (acumulado) y, en versiones posteriores, introdujeron datos de evapotranspiración y radiación solar. Como en la investigación anteriormente revisada, también se utilizaron datos climáticos como predictores, aunque con un periodo de referencia (2009-2018) y una fuente (Terraclimate, Abatzoglou, Dobrowski, Parks, & Hegewisch, 2018) diferentes. Finalmente, proyectaron la distribución potencial global de la variación mensual de la idoneidad del SARS-CoV-2, generando un mapa global con la idoneidad del citado coronavirus para cada mes del año.

Los resultados generados a partir de los modelos citados mostraron que la distribución del SARS-CoV-2 aparece más concentrada en el espacio ambiental (bioclimático) que, en el espacio geográfico, por lo que los autores interpretan que las infecciones locales prevalecen dentro de un conjunto relativamente limitado de condiciones ambientales, asumiendo que el virus ha podido ser transportado por todos los espacios habitados del planeta. Según estos investigadores, la desigual colonización del espacio geográfico frente al clima, invita a la interpretación de que el clima, en efecto, está actuando como una restricción más fuerte para la propagación del virus que las distancias geográficas. En este sentido, explican que la mayoría de las transmisiones locales ocurren en regiones expuestas a condiciones frescas y secas —medidas tanto por evapotranspiración como por precipitación— y cerca del extremo inferior del gradiente de radiación, en el contexto de climas mesotérmicos. Por tanto, consideran más probable la aparición de pandemias asincrónicas estacionales de amplio alcance según los dominios climáticos zonales, tal como sucede con otras enfermedades respiratorias.

Sin embargo, Pacheco et al. (2020) han cuestionado el hipotético carácter asincrónico de la pandemia a escala global en un trabajo en el que analizaron, a nivel mundial, el efecto de tres clases de predictores (socioeconómico, climático y de transporte) sobre la tasa de incremento diario de COVID-19. Encontraron que las conexiones globales, representadas por la importancia de los países en la red mundial de transporte aéreo, constituyen el mejor predictor de la tasa de crecimiento de COVID-19 en los países estudiados —incluso en el caso de un país tropical como Brasil, que presenta la segunda tasa más elevada de aumento de COVID-19— y que el clima, la distancia geográfica y los restantes factores socioeconómicos no eran relevantes. Concluyen que la red global de transporte aéreo podría conducir, en el peor de los casos y si no se tomasen medidas de contención, hacia una pandemia global sincrónica. En este sentido, recomiendan una política de aislamiento social bien establecida y efectiva que pueda ayudar a evitar un aumento de las tasas de mortalidad como resultado del colapso de los sistemas nacionales de salud. Los últimos trabajos publicados apuntan en la dirección sugerida por estos autores, dado que hasta el 8 de abril de 2020, se había notificado la existencia transmisión local del SARS-CoV-2

en 180 países que, conjuntamente, abarcan todas las zonas climáticas del mundo habitado (O'Reilly et al., 2020).

4. Discusión

En este apartado se abundará en las implicaciones de los resultados y conclusiones derivadas por los autores de los trabajos revisados, se contrastarán dichos resultados con los de investigaciones previas y se abordará un análisis crítico de los mismos, desde una perspectiva eminentemente biogeográfica.

4.1. Alcance e implicaciones de las investigaciones revisadas

Existen una serie de lugares comunes en los trabajos revisados. El primero de ellos aparenta ser una obviedad —pues no aporta ninguna novedad— pero es necesario explicitarlo: la viabilidad del SARS-CoV-2, fuera del cuerpo humano, depende de las condiciones ambientales. Este hecho ha sido puesto de manifiesto para otros virus como el SARS-CoV, el MERS-CoV y el de la gripe (Otter et al., 2016; van Doremalen et al., 2013). En condiciones experimentales, se ha demostrado que el SARS-CoV-2 puede ser viable en aerosoles durante unas horas, mientras que en superficies sólidas y puede ser viable hasta tres días (van Doremalen et al., 2020). Es la viabilidad del virus tanto en espacios interiores como en entornos exteriores la que facilita los mecanismos de contagio indirecto y, por tanto, la que justifica las líneas de investigación de corte ambientalista como las que analizan el efecto de tiempo y el clima.

Otro punto de encuentro que relaciona los resultados de las investigaciones revisadas se refiere a que, en el espectro de condiciones ambientales que se está considerando, se refrenda la influencia de los principales elementos relacionados con el tiempo y clima, básicamente temperatura y humedad. En efecto, las condiciones de temperatura y humedad influyen en la viabilidad del SARS-CoV-2, tanto en entornos interiores como entornos exteriores. Problema aparte es demostrar hasta qué punto esta circunstancia influye en la propagación del virus a través de los mecanismos de contagio indirecto, y qué importancia relativa tienen estos mecanismos con respecto a los de contagio directo, cuestiones éstas que caen fuera del alcance del presente trabajo. En todo caso, se consideran necesarios este tipo de estudios, dado que sus resultados podrían justificar (o no) la profundización de las investigaciones relativas al efecto del tiempo y el clima sobre la propagación del SARS CoV-2.

Los trabajos analizados coinciden, en general, en que un ambiente fresco y seco es el más propicio para la proliferación del SARS CoV-2. Esto se ha demostrado claramente en condiciones experimentales (Chin et al., 2020), para un rango térmico relativamente amplio, y se ha puesto también de manifiesto en estudios observacionales, en los que se ha venido destacando que la viabilidad del virus, en el contexto de los climas templados o mesotérmicos, es mayor en ambientes frescos y secos.

En los trabajos observacionales basados en estudio de casos, que son la principal fuente de resultados, emerge una problemática más compleja que remite a diferenciar claramente entre la detección del virus SARS CoV-2 en el entorno y la detección de la enfermedad causada por el mismo, la COVID-19. Casi todos los estudios observacionales están basados en registros positivos de la enfermedad en seres humanos, lo cual es especialmente problemático en el caso de las investigaciones que pretenden realizar una inferencia a partir los casos detectados de la COVID-19 y una espacialización global de los resultados. Sobre este problema, de difícil solución, se abundará en el apartado siguiente.

Por otro lado, buena parte de los autores sugieren, de manera implícita o explícita, la existencia de una posible componente estacional en la propagación del coronavirus SARS CoV-2. A día de hoy, esta es una cuestión que todavía está por demostrar con el nuevo coronavirus. Sin embargo, hay indicios que podrían apoyar esta hipótesis. Los coronavirus pertenecen a la familia de denominados virus envueltos (lipofílicos), esto es, virus que se hallan recubiertos por una capa grasa (bicapa lipídica) de la que sobresalen proteínas en forma de “espigas” que coronan la envoltura, de ahí su nombre (Lai & Cavanagh, 1997). La investigación sobre otros virus envueltos sugiere que esta capa grasa hace que estos virus sean más susceptibles al calor que aquellos que no la tienen, lo que podría explicar por qué los brotes relacionados con virus envueltos suelen mostrar una fuerte estacionalidad (Price, Graham, & Ramalingam, 2019).

La posible estacionalidad del brote pandémico actual del nuevo coronavirus remite a la zonación climática latitudinal y a la distribución geográfica. En apoyo de la hipótesis sobre la estacionalidad se aduce, por ejemplo, que, entre el invierno y la primavera de 2020, los brotes se han concentrado —en su mayor parte— en el hemisferio norte, principalmente en China, Irán, Europa central, meridional y occidental, y los Estados Unidos, en una franja latitudinal relativamente estrecha, según el mapa actualizado en tiempo real realizado por la Universidad John Hopkins (Dong et al., 2020). Se ha constatado que el brote del nuevo coronavirus se ha expandido fuera de China debido al flujo de viajeros procedentes de dicho país, incluso antes de iniciarse el confinamiento de la ciudad de Wuhan (Ng et al., 2020; Sebastian et al., 2020). Es conocida la intensidad y complejidad del flujo comercial entre China e India, y entre China y los numerosos países del África subsahariana y América Latina (Khanna, 2016). El SARS, la fiebre aftosa y la gripe aviar son ejemplos de enfermedades cuya propagación se ha modelizado con éxito considerando estas redes de comercio y transporte (Banks, Paini, Bayliss, & Hodda, 2015). Todo esto sugiere que el SARS CoV-2 pudo haber entrado masivamente en todos estos países, que mantienen intensas relaciones comerciales con China (y otros lugares donde la pandemia está presente), pero que los climas de la franja intertropical podrían ser menos propicios para los mecanismos de contagio indirecto, y que estos mecanismos deben de ser importantes para la propagación del virus (Araújo & Naimi, 2020). Sin embargo, el virus también está presente —aunque en menor medida— en todos estos lugares, especialmente en el

ámbito de Latinoamérica, donde destacan las tasas de crecimiento por COVID-19 experimentadas en Brasil durante la primavera del año 2020 (Pacheco et al., 2020). Con respecto a otras regiones donde la presencia del SARS CoV-2 ha sido también menor hasta la fecha, caso de África occidental, algunos autores consideran que puede ser debido a que la epidemia ha comenzado más tarde que en otras regiones del mundo, a causa de un tráfico aéreo internacional más limitado, y no tanto por las condiciones climáticas (Martínez-Alvarez et al., 2020).

Por último, algunos autores han sugerido que la llegada del verano podría poner fin a la pandemia en aquellas regiones donde, en teoría, no se dan en dicha estación las condiciones ambientales más propicias para el SARS CoV-2 (Bukhari & Jameel, 2020): en zonas con veranos cálidos y muy secos, a diferencia del MERS-CoV (Altamimi & Ahmed, 2019); y en áreas con veranos cálidos y muy húmedos, especialmente en aquéllos que presentan características monzónicas. Sin embargo, incluso en las regiones con climas de estas características, otros autores advierten de que, ante la llegada del verano, será igualmente necesario el despliegue de un amplio abanico de medios de contención de la pandemia para forzar una disminución en el recuento de casos de la COVID-19 (Luo et al., 2020; Poirier et al., 2020). La llegada del verano podría, a lo sumo, ser un punto y seguido. O ni siquiera eso. Además, la estacionalidad no siempre restringe los nuevos virus pandémicos de la misma forma que los antiguos, ya que estos pueden propagarse fuera de la temporada normal (Miller, Viboud, Balinska, & Simonsen, 2009). Tal fue el caso de la gripe pandémica de 2009 (Shaman, Goldstein, & Lipsitch, 2011): la pandemia comenzó en abril-mayo —fuera de la temporada de gripe—, remitió en el verano —tal vez debido a la importancia de los niños en la transmisión de la gripe (Worby et al., 2015)— y luego se recuperó en septiembre-octubre, antes del comienzo de la temporada normal de gripe.

4.2. Limitaciones de las investigaciones revisadas

Llegados a este punto, cabe establecer una serie de objeciones, de carácter conceptual y metodológico, dirigidas en su mayor parte a las investigaciones basadas en estudios observacionales y modelos predictivos, cuyos datos están claramente determinados por la geografía y cuyos resultados pueden verse condicionados de forma significativa por la tipología de los datos y los métodos empleados, así como por la naturaleza de los supuestos teóricos asumidos por acción u omisión.

La mayor parte de las objeciones que pueden hacerse a las investigaciones revisadas basadas en datos observacionales se relacionan con la vulneración del supuesto de independencia de las observaciones (Peterson et al., 2011). Sólo quedarían totalmente excluidas de ellas, las basadas en experimentos llevados a cabo en condiciones controladas.

La ley de Tobler («todas las cosas están relacionadas, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes»), describe el principio de autocorrelación, aplicable tanto a datos espaciales como a temporales (Tobler, 1970). Cuando interesa una explicación estrictamente basada en

el espacio geográfico (coordenadas espacio-temporales), los propios datos espaciotemporales pueden emplearse como soporte para la predicción espacial (Li & Heap, 2014); pero cuando se pretende inferir efectos en el espacio ambiental (n-dimensional) propio de los modelos de nicho ecológico (Soberón & Peterson, 2005), es imprescindible minimizar o neutralizar el efecto de la dependencia espacial (Dormann et al., 2007). Así, en la investigación observacional y en los modelos predictivos, constituyen prácticas recurrentes eliminar las replicaciones, separar las observaciones en el espacio y en el tiempo, sistematizarlas o aleatorizarlas y minimizar el efecto de la multicolinealidad. Todo ello con el objeto de lograr una mayor independencia entre las observaciones y acercarse al cumplimiento del requisito de independencia estadística (Araújo et al., 2019; Guisan, Thuiller, & Zimmermann, 2017; Gutiérrez-Hernández et al., 2018).

En la mayor parte de las investigaciones basadas en datos observacionales revisadas se encontró que, para demostrar el efecto de las condiciones atmosféricas sobre el nuevo coronavirus SARS CoV-2, los autores trabajaron con conjuntos de datos muy restringidos en el espacio y en el tiempo. Así, desde estudios localizados en Wuhan (China), basados en datos colectados durante unas semanas muy concretas, hasta estudios de amplio alcance, suelen ignorar en la discusión de sus resultados estos importantes condicionantes. Ello hace que, en rigor, pudiera llegar a concluirse que el SARS CoV-2 ha ido apareciendo en un espectro de condiciones atmosféricas determinantes o causantes de buena parte de su distribución en el espacio y en el tiempo; o bien todo lo contrario, que es la propia geografía (estructura espacial de los datos) la que está proyectando unas condiciones atmosféricas relativamente homogéneas dentro de un rango, por lo que la mayor parte de los estudios observacionales adolecen de este problema. En este sentido, los métodos de regresión están concebidos para interpolar entre los puntos conocidos, por lo que cualquier extrapolación —ya sea fuera del rango de las variables que se ponen en relación, en el espacio o en el tiempo— puede resultar muy arriesgada cuando se estudia la posible influencia de factores ambientales en la distribución geográfica de epidemias, como pudiera llegar a desprenderse del estudio preliminar anteriormente mencionado (AEMET & ISCIII, 2020; ISCIII & AEMET, 2020; MITECO, 2020).

Por otro lado, algunos de los trabajos revisados, parecen confundir conceptual y operativamente el tiempo meteorológico con el clima. Así, Ficetola & Rubolini (2020) trataron de explicar un evento dinámico localizado en el tiempo y en el espacio —las tasas de crecimiento de los patrones globales de la dinámica del brote temprano de la COVID-19, desde enero a marzo de 2020— a partir de predictores ambientales y socioeconómicos. Pero, entre los ambientales, en lugar de usar los datos relativos a las condiciones atmosféricas imperantes durante el intervalo de tiempo estudiado, emplearon los datos climáticos promedio correspondientes a un pasado lejano (1970-2000), llegando a la inverosímil conclusión de que el clima de entre 50 y 20 años antes —que implica otros parámetros temporales— influye en el proceso. Araújo

& Naimi (2020) intentaron minimizar este problema trabajando con datos climáticos más próximos en el tiempo, pero sin recoger las anomalías interanuales propias de cada clima y estación. El empleo de datos climáticos para la calibración de modelos de envolturas climáticas sólo está justificado si se asume que el organismo ha alcanzado un equilibrio con el clima (Araújo & Peterson, 2012). De hecho, buena parte de los algoritmos empleados en los modelos de nicho ecológico están diseñados para modelizar distribuciones de especies en equilibrio con el clima (Elith, 2017). Muchos autores se refieren indistintamente a modelos de nicho y modelos de distribución de especies como sinónimos o equivalentes, cuando en realidad existen importantes diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución (Soberón, Osorio-Olvera, & Peterson, 2017).

Los modelos de nicho ecológico potencial revisados en este artículo y que, en la práctica, están basados en datos bioclimáticos, involucran otro conjunto de asunciones que pueden producir resultados engañosos. Estos modelos de envolturas bioclimáticas forman parte la familia de modelos de nicho ecológico y son estáticos porque asumen la hipótesis de pseudoequilibrio: la asunción de que cada especie —en tanto que persiste— está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales que determinan su existencia a lo largo del tiempo (Austin, 2007). Esto difícilmente puede justificarse para el SARS CoV-2, dado que los modelos de nicho que se aplican en las primeras etapas de la invasión tienden a subestimar el rango potencial en comparación con los modelos que se construyen en las etapas posteriores de la invasión (Václavík & Meentemeyer, 2012). Por tanto, sin entrar en otras consideraciones más complejas, que exceden del objetivo de este trabajo, está por demostrar la hipótesis de equilibrio de este virus con el clima.

Sin embargo, en uno de los trabajos revisados basado en modelos de envolturas bioclimáticas, los autores proyectan con sus modelos la variación mensual de la idoneidad climática del SARS CoV-2 en el conjunto de la superficie terrestre (Araújo & Naimi, 2020). Desde una posición escéptica bastaría con reiterar las objeciones anteriormente expuestas, junto otras tantas de carácter técnico, cuyo análisis detallado caen fuera del objeto de este trabajo (véase Chipperfield, Benito, O'Hara, Telford, & Carlson, 2020), que vendrían a objetar que estos modelos se limitan a proyectar —en el mejor de los supuestos— una versión sobredimensionada de la redundancia (o sobreajuste) con estructura espacial. Una posición más pragmática apelaría a que, excepcionalmente, se debe priorizar la utilidad de los patrones observados frente al cumplimiento estricto de los estándares de calidad en el modelado (Araújo et al., 2019).

Sin embargo, incluso asumiendo esta última línea argumental, algunos de los trabajos revisados han utilizado procedimientos totalmente inadecuados para evaluar el desempeño de estos modelos. Así, Bariotakis et al. (2020) defienden que sus modelos tienen «capacidad predictiva del 90%», cuando en realidad están evaluando una cosa bien distinta: la capacidad discriminante de sus modelos. En la misma dirección, evalúan

sus modelos Araújo & Naimi (2020), que emplean dos métricas, AUC y TSS para evaluar la capacidad discriminante de sus modelos. Estos procedimientos de evaluación son obsecuentes del área de calibración, de la naturaleza de los datos de presencia, ausencia y background, etc. y suelen ofrecer una medida engañosa incluso de la propia capacidad discriminante —no de la predictiva— de los modelos (Fourcade, Besnard, & Secondi, 2018; Jiménez-Valverde, Lobo, & Hortal, 2008; Lobo, Jiménez-Valverde, & Hortal, 2010; Lobo, Jiménez-Valverde, & Real, 2008). En este sentido, se echa en falta que buena parte de los autores no expliciten las medidas de calibración de modelos, la significación estadística de la influencia de las variables u otras basadas en el principio parsimonia, pero, sobre todo, medidas relacionadas con el error y la incertidumbre: distribución de los residuos, estructura espacial de los residuos, espacialización del error en las predicciones, etc., lo cual es imprescindible para descartar la presencia de sesgos y artefactos en los resultados y conclusiones de los trabajos (Araújo et al., 2019). También se echa en falta, particularmente en los trabajos que emplean un gran número de tests estadísticos para elucidar un número limitado de cuestiones relacionadas, la aplicación de algún sistema de control —siquiera laxo— de la inflación de error de tipo I que lleva aparejada dicha multiplicidad. Se evita así capitalizar el azar y limitar el número de ‘falsos positivos’ o ‘descubrimientos espurios’ (García, 2004).

No se cuestionan las posibles imbricaciones entre ecología y epidemiología y la utilidad de los modelos basados en envolturas bioclimáticas, pero no todas las aplicaciones están biológicamente justificadas, como explicitan Carlson et al. (2020) para la COVID-19. Estos modelos han sido aplicados con éxito pero en determinados contextos muy específicos donde los autores establecen adecuadamente el marco de los presupuestos teóricos y la aplicación correcta de los procedimientos técnicos (Reeves, Samy, & Peterson, 2015; Zhu & Peterson, 2014). Sin embargo, entre los trabajos revisados se incluyen aplicaciones epidemiológicas basadas en enfoques de modelos de nicho para el mapeo de enfermedades que pueden no generar diseños de estudio sólidos, produciendo inferencias incompletas o incorrectas (Escobar & Craft, 2016). Es más, en el caso de los modelos bioclimáticos que transfieren la idoneidad en el espacio y en el tiempo, se incurre en un inadecuado supuesto de sustitución de espacio por tiempo, porque estos métodos emplean modelos estáticos en entornos no estacionarios y los resultados de estos planteamientos pueden conducir a conclusiones erróneas (Damgaard, 2019).

Más allá de la perspectiva estrictamente espacial y sus escalas, la geografía humana proyecta un conjunto de propiedades cuyos efectos deberían ser tenidos en cuenta (Marston, Jones, & Woodward, 2005). Una de ellas es la movilidad de la población. Si se parte de la evidencia empírica de que el SARS CoV-2 ha sido movilizado por el ser humano a través de los sistemas de transporte, y que éstos están organizados en un contexto global de redes más o menos densas, conectadas y jerarquizadas de acuerdo con la importancia económica y demográfica de sus nodos —las ciudades, las regiones, los Estados— (Khanna, 2016), no sería

sino la movilidad aquello que, preferentemente, está condicionando la distribución del nuevo coronavirus SARS CoV-2. Bajo esta perspectiva, los tiempos y climas involucrados en la geografía del SARS CoV-2, no serían sino el efecto de esta movilidad de la población, un aspecto que en parte también está relacionado con las dimensiones de la huella humana. Por supuesto, también es compatible pensar que movilidad y condiciones atmosféricas están operando como causas necesarias conjuntamente, y, de hecho, por pequeña que pudiera ser la magnitud del efecto del tiempo y el clima, si lo tienen, como de hecho se piensa, deben ser tenidos en cuenta.

Aceptando que pudiera existir una influencia de las condiciones atmosféricas, cuya señal está degradada por los motivos anteriormente señalados, existen otros elementos que también distorsionan la validez de los modelos estadísticos y modelos basados en envolturas bioclimáticas. Uno de ellos constituye el basamento de todas las investigaciones, de todos aquellos datos que alimentan las observaciones y los modelos, a saber: los investigadores están operando con los casos detectados de la COVID-19 (dentro del cuerpo humano), no con registros procedentes de un muestreo sistemático o aleatorio de puntos en el espacio y en el tiempo a la búsqueda del SARS CoV-2 en espacios exteriores y, por ello, influenciados por las condiciones atmosféricas. Consecuentemente, en el mejor de los casos, sólo se conoce una aproximación —puede que muy distante o sesgada— a la prevalencia de la COVID-19 dentro de una población determinada, y partir de ahí se infiere la presencia del SARS CoV-2 en el entorno. Y esta circunstancia está condicionada, además, por el nivel de desarrollo y la eficacia de los servicios e intervenciones de salud pública de los Estados, esto es, la geografía de la salud (Olivera, 1993). Incluso en los países con los mejores sistemas de salud, se ha demostrado que las curvas epidémicas de los casos notificados no siempre reflejan la verdadera tasa de crecimiento epidémico, debido a las variaciones en el número y naturaleza de las pruebas de detección de la COVID-19, por lo que estas curvas epidémicas suelen estar influenciadas por la capacidad para acometer pruebas de diagnóstico durante la fase temprana de la epidemia (Omori, Mizumoto, & Chowell, 2020).

Por último, se pretende llamar la atención sobre dos aspectos cruciales. El primero de ellos es la necesidad de una definición clara y uniforme de la noción de riesgo, así como un marco metodológico unificado para cuantificarlo. La cuantificación del riesgo de transmisión de enfermedades es en efecto un aspecto decisivo para la asignación estratégica de recursos para la salud pública (Johnson, Escobar, & Zambrana-Torrel, 2019). El segundo de ellos tiene que ver con el tratamiento, la aceptación y la difusión de los resultados de investigación. En este sentido, por un lado, se ha detectado una degradación de los estándares mínimos exigibles en la aplicación del método científico en muchos de los trabajos revisados sobre la influencia de tiempo y clima en la distribución del SARS CoV-2, y no sólo en los trabajos publicados en repositorios de preimpresión, también en artículos científicos revisados por pares. Por otro lado, está la difusión masiva —en medios institucionales y medios de comunicación— de resultados de investigaciones que carecen de la evidencia suficiente que

requiere el método científico y la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

5. Conclusiones

Hasta donde sabemos, éste es el primer artículo de revisión de la literatura científica —en clave biogeográfica— sobre el efecto del tiempo atmosférico y el clima sobre la distribución del nuevo coronavirus SARS CoV-2. En el análisis crítico, se ha enfatizado la perspectiva biogeográfica, por entender que puede ayudar a comprender el alcance global del problema, así como las limitaciones metodológicas de los estudios publicados en los que la dimensión espacial y temporal es significativa.

En relación con las hipótesis iniciales, y de acuerdo con los trabajos revisados, parece claro que existe una dependencia espacial y temporal en la distribución global del patógeno, que el ser humano ha sido el vector fundamental de propagación de la COVID-19 y que la distribución global del SARS CoV-2 está condicionada por el mapa de la movilidad de la población y la conectividad geográfica. Por otro lado, de acuerdo con la mayor parte de los autores, podría aceptarse que los factores ambientales pueden estar influyendo en la propagación del nuevo coronavirus.

En relación con los factores ambientales, parece existir un consenso sobre la influencia de las condiciones atmosféricas en la distribución del SARS CoV-2 y la COVID-19, aunque buena parte de las investigaciones basadas en datos observacionales no han conseguido aislar de forma fehaciente el efecto de las mismas. En este sentido, se apunta que las condiciones idóneas para el SARS CoV-2 se relacionan con un ambiente fresco y seco, en el contexto de un clima mesotérmico y que ello podría imprimir una componente estacional a la pandemia. Es necesario insistir en que el SARS CoV-2 se encuentra en una fase de propagación activa y, por tanto, resulta claramente precipitado, por no decir incorrecto, asumir la hipótesis de que su distribución actual está en pseudoequilibrio con el clima. En consecuencia, tanto los modelos que asuman estas hipótesis de equilibrio como los que hayan sido calibrados con datos faltos de una cobertura sistemática en el espacio y en el tiempo y, además, estén concebidos para proyectar globalmente la variación de la idoneidad climática del SARS CoV-2, deben ser puestos en cuarentena, en lo que a evidencia científica consistente se refiere. Cosa diferente es que suministren indicios y patrones útiles para la generación y discusión de hipótesis susceptibles de ser contrastadas a través de aproximaciones metodológicamente rigurosas.

Parece claro que, en una fase de propagación activa de la COVID-19 son los modelos epidemiológicos los que, a efectos prácticos, deben ser tenidos en cuenta. Desde una perspectiva biogeográfica, los modelos de envolturas bioclimáticas pueden llegar a aportar información relevante siempre y cuando se verifiquen sus premisas y se apliquen correctamente en sus aspectos conceptuales, técnicos y operativos. Y, en todos los modelos cuyas predicciones se proyecten en el espacio y/o en el tiempo,

hay una premisa fundamental que debe cumplirse en todo caso: la calidad y suficiencia de los datos espacialmente y/o temporalmente referenciados de partida.

La mayor parte de las investigaciones revisadas adolecen de la inmediatez de los datos disponibles y de una aplicación de métodos de calibración y evaluación no adecuados a la naturaleza del problema, por lo que generan numerosas incógnitas relacionadas con la prevalencia real de la enfermedad, los modos de transmisión del virus, la evolución y mutación del mismo o los mecanismos de contagio directos e indirectos, aspectos que deben ser aclarados por los especialistas.

Futuras líneas de investigación tendrían que despejar estos interrogantes y, en relación con los efectos de las condiciones atmosféricas, estudiar primero y en condiciones controladas el efecto de sus principales elementos (temperatura, humedad) y su importancia en el contexto de los mecanismos de contagio que producen la propagación del virus y la enfermedad. Finalmente, no cabe duda de que la perspectiva biogeográfica debe implementarse ensamblando los componentes que interaccionan en su dominio y que influyen tanto en los modelos bioclimáticos como en los modelos epidemiológicos.

Referencias

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- AL-Rousan, N., & Al-Najjar, H. (2020). Nowcasting and Forecasting the Spreading of Novel Coronavirus 2019-nCoV and Its Association with Weather Variables in 30 Chinese Provinces: A Case Study. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3537084>
- Altamimi, A., & Ahmed, A. E. (2019). Climate factors and incidence of Middle East respiratory syndrome coronavirus. *Journal of Infection and Public Health*. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.11.011>
- Alvarez-Ramirez, J., & Meraz, M. (2020). Role of meteorological temperature and relative humidity in the January-February 2020 propagation of 2019-nCoV in Wuhan, China. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.19.20039164>
- Andersen, K. G., Rambaut, A., Lipkin, W. I., Holmes, E. C., & Garry, R. F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 26(1), 44–48. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
- Araújo, M. B., Anderson, R. P., Barbosa, A. M., Beale, C. M., Dormann, C. F., Early, R., ... & Rahbek, C. (2019). Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Nature Ecology and Evolution*, 5(1), eaat4858. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat4858>
- Araújo, M. B., & Naimi, B. (2020). Spread of SARS-CoV-2 Coronavirus likely to be constrained by climate. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20034728>

- Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93(7), 1527–1539. <https://doi.org/10.1890/11-1930.1>
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1–2), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005>
- Baker, R. E., Yang, W., Vecchi, G. A., Metcalf, C. J. E., & Grenfell, B. T. (2020). Susceptible supply limits the role of climate in the COVID-19 pandemic. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.03.20052787>
- Banks, N. C., Paini, D. R., Bayliss, K. L., & Hodda, M. (2015). The role of global trade and transport network topology in the human-mediated dispersal of alien species. *Ecology Letters*, 18(2), 188–199. <https://doi.org/10.1111/ele.12397>
- Bannister-Tyrrell, M., Meyer, A., Faverjon, C., & Cameron, A. (2020). Preliminary evidence that higher temperatures are associated with lower incidence of COVID-19, for cases reported globally up to 29th February 2020. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.18.20036731>
- Bariotakis, M., Sourvinos, G., Castanas, E., & Pirintsos, S. A. (2020). Climatic influences on the worldwide spread of SARS-CoV-2. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.19.20038158>
- Bashir, M. F., Ma, B., Bilal, Komal, B., Bashir, M. A., Tan, D., & Bashir, M. (2020). Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *Science of The Total Environment*, 728, 138835. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>
- Bhattacharjee, V. (2020). Statistical investigation of relationship between spread of coronavirus disease (COVID-19) and environmental factors based on study of four mostly affected places of China and five mostly affected places of Italy. *Arxiv*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2003.11277>
- Brady, M. T., Evans, J., & Cuartas, J. (1990). Survival and disinfection of parainfluenza viruses on environmental surfaces. *American Journal of Infection Control*, 18(1), 18–23. [https://doi.org/10.1016/0196-6553\(90\)90206-8](https://doi.org/10.1016/0196-6553(90)90206-8)
- Brassey, J., Heneghan, C., Mahtani, K. R., & Aronson, J. K. (2020). COVID-19: Do weather conditions influence the transmission of the coronavirus (SARS-CoV-2)? Oxford COVID-19 Evidence Service. Recuperado de <https://www.cebm.net/do-weather-conditions-influence-the-transmission-of-the-coronavirus-sars-cov-2/>
- Briz-Redón, A., & Serrano-Aroca, Á. (2020). A spatio-temporal analysis for exploring the effect of temperature on COVID-19 early evolution in Spain. *Science of The Total Environment*, 728, 138811. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138811>
- Bu, J., Peng, D.-D., Xiao, H., Yue, Q., Han, Y., Lin, Y., ... & Chen, J. (2020). Analysis of meteorological conditions and prediction of epidemic trend of 2019-nCoV infection in 2020. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.02.13.20022715>
- Bukhari, Q., & Jameel, Y. (2020). Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer? SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3556998>

- Carlson, C. J., Chipperfield, J. D., Benito, B. M., Telford, R. J., & O'Hara, R. B. (2020). Species distribution models are inappropriate for COVID-19. *Nature Ecology & Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1212-8>
- Chan, K. H., Peiris, J. S. M., Lam, S. Y., Poon, L. L. M., Yuen, K. Y., & Seto, W. H. (2011). The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Advances in Virology*, 2011, 734690. <https://doi.org/10.1155/2011/734690>
- Chen, B., Liang, H., Yuan, X., Hu, Y., Xu, M., & Zhao, Y. (2020). Roles of meteorological conditions in COVID-19 transmission on a worldwide scale. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.16.20037168>
- Chin, A., Chu, J., Perera, M., Hui, K., Yen, H., Chan, M., & Poon, L. (2020). Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.15.20036673>
- Chipperfield, J. D., Benito, B. M., O'Hara, R. B., Telford, R. J., & Carlson, C. J. (2020). On the inadequacy of species distribution models for modelling the spread of SARS-CoV-2 : response to Araújo and Naimi. *EcoEvoRxiv*. <https://doi.org/10.32942/osf.io/mr6pn>
- Damgaard, C. (2019). A Critique of the Space-for-Time Substitution Practice in Community Ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(5), 416–421. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.01.013>
- Díaz, J., García, R., López, C., Linares, C., Tobías, A., & Prieto, L. (2005). Mortality impact of extreme winter temperatures. *International Journal of Biometeorology*, 49(3), 179–183. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0224-4>
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J. C., Hernández, E., & Otero, A. (2002). Heat waves in Madrid 1986-1997: Effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75(3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s00420-001-0290-4>
- Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet*, 399(20), 19–20. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- Dormann, C. M., McPherson, J. M., Araújo, M. B., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., ... & Wilson, R. (2007). Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: A review. *Ecography*, 30(5), 609–628. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x>
- Elith, J. (2017). Predicting distributions of invasive species. En *Invasive Species: Risk Assessment and Management*. <https://doi.org/10.1017/9781139019606.006>
- Escobar, L. E., & Craft, M. E. (2016). Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1174. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01174>
- Ficetola, G. F., & Rubolini, D. (2020). Climate Affects Global Patterns of Covid-19 Early Outbreak. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

- Fourcade, Y., Besnard, A. G., & Secondi, J. (2018). Paintings predict the distribution of species, or the challenge of selecting environmental predictors and evaluation statistics. *Global Ecology and Biogeography*, 27(2), 245–256. <https://doi.org/10.1111/geb.12684>
- Franklin, J. (2009). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction* (Ecology, Biodiversity and Conservation). New York: Cambridge University Press.
- García, L. V. (2004). Escaping the Bonferroni iron claw in ecological studies. *Oikos*, 105(3), 657–663. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13046.x>
- Gil, A., & Olcina, J. (2017). *Tratado de Climatología*. Alicante: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Gregory, D., Johnston, R., Watts, M. J., & Whatmore, S. (2009). The Dictionary of Human Geography (5th Edition). En *The Dictionary of Human Geography* (p. 1052). West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. <https://doi.org/10.1017/9781139028271>
- Gupta, D. (2020). Effect of Ambient Temperature on COVID-19 Infection Rate. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3558470>
- Gutiérrez-Hernández, O. (2019). *Aproximación multiescalar al estudio biogeográfico de los impactos del cambio global en la ecorregión mediterránea. La Biogeografía en el Antropoceno* (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Gutiérrez-Hernández, O., Cámara Artigas, R., Senciales González, J. M., & García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88–126. <https://doi.org/10.21138/bage.2395>
- Hall, C. B., Douglas, R. G., & Geiman, J. M. (1980). Possible transmission by fomites of respiratory syncytial virus. *Journal of Infectious Diseases*, 141(1), 98–102. <https://doi.org/10.1093/infdis/141.1.98>
- Harbert, R., Cunningham, S. W., & Tessler, M. (2020). Spatial modeling cannot currently differentiate SARS-CoV-2 coronavirus and human distributions on the basis of climate in the United States. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.04.08.20057281>
- Holtmann, M., Jones, M., Shah, A., & Holtmann, G. (2020). Low ambient temperatures are associated with more rapid spread of COVID-19 in the early phase of the endemic. *Environmental Research*, 109625. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109625>
- Hui, D. S., Azhar, E. I., Madani, T. A., Ntoumi, F., Kock, R., Dar, O., ... & Petersen, E. (2020). The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health — The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *International Journal of Infectious Diseases*, 91, 264–266. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.01.009>
- ISCIII, & AEMET (2020). *Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación del coronavirus y la COVID-19 en España*. Recuperado de: <https://www.isciii.es/Noticias/Noticias/Paginas/Noticias/AcuerdoISCIIIAEMETEstudioTemperaturasCOVID19.aspx>

- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M., & Hortal, J. (2008). Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 14(6), 885–890. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00496.x>
- Johnson, E. E., Escobar, L. E., & Zambrana-Torrel, C. (2019). An Ecological Framework for Modeling the Geography of Disease Transmission. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(7), 655–668. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.004>
- Jüni, P., Rothenbühler, M., Bobos, P., Thorpe, K. E., da Costa, B. R., Fisman, D. N., ... & Gesink, D. (2020). Impact of climate and public health interventions on the COVID-19 pandemic: A prospective cohort study. *Canadian Medical Association Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1503/cmaj.200920>
- Kamel, M. N., & Geraghty, E. M. (2020). Geographical tracking and mapping of coronavirus disease COVID-19/severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) epidemic and associated events around the world: how 21st century GIS technologies are supporting the global fight against outbreaks and epidemics. *International Journal of Health Geographics*, 19(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s12942-020-00202-8>
- Khanna, P. (2016). *Connectography: Mapping the Future of Global Civilization*. Nueva York: Penguin Random House.
- Ksiazek, T. G., Erdman, D., Goldsmith, C. S., Zaki, S. R., Peret, T., Emery, S., ... & SARS Working Group (2003). A Novel Coronavirus Associated with Severe Acute Respiratory Syndrome. *New England Journal of Medicine*, 348(20), 1953–1966. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030781>
- Lai, M. M. C., & Cavanagh, D. (1997). The Molecular Biology of Coronaviruses. *Advances in virus research*, 48, 1–100. [https://doi.org/10.1016/S0065-527\(08\)60286-9](https://doi.org/10.1016/S0065-527(08)60286-9)
- Lam, T. T.-Y., Shum, M. H.-H., Zhu, H.-C., Tong, Y.-G., Ni, X.-B., Liao, Y.-S., ... & Guan, Y. (2020). Identifying SARS-CoV-2 related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0>
- Lau, H., Khosrawipour, V., Kocbach, P., Mikolajczyk, A., Schubert, J., Bania, J., & Khosrawipour, T. (2020). The positive impact of lockdown in Wuhan on containing the COVID-19 outbreak in China. *Journal of Travel Medicine*, 001(714). <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa037>
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173–189.
- Li, X., Zai, J., Zhao, Q., Nie, Q., Li, Y., Foley, B. T., & Chaillon, A. (2020). Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 9(6), 602–611. <https://doi.org/10.1002/jmv.25731>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Hortal, J. (2010). The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. *Ecography*, 33(1), 103–114. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06039.x>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global*

- Ecology and Biogeography, 17(2), 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Lomolino, M. V., Riddle, B. A., & Whittaker, R. J. (2016). *Biogeography: Biological Diversity Across Space and Time*. Sunderland, Massachusetts: Oxford University Press.
- Luo, W., Majumder, M. S., Liu, D., Poirier, C., Mandl, K. D., Lipsitch, M., & Santillana, M. (2020). The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467>
- Ma, Y., Zhao, Y., Liu, J., He, X., Wang, B., ... & Luo, B. (2020). Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 724, 138226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138226>
- Marston, S. A., Jones, J. P., & Woodward, K. (2005). Human geography without scale. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 30(4), 416–432. <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2005.00180.x>
- Martínez-Alvarez, M., Jarde, A., Usuf, E., Brotherton, H., Bittaye, M., Samateh, A. L., ... & Roca, A. (2020). COVID-19 pandemic in west Africa. *The Lancet*, 8(5), e631–e632. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30123-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30123-6)
- Martínez-Carpio, P. A. (2003). *Biometeorología y bioclimatología clínica: Fundamentos, aplicaciones clínicas y estado actual de estas ciencias*. *Atención Primaria*, 32(5), 300–305. <https://doi.org/10.1157/13051599>
- Mecenas, P., Bastos, R., Vallinoto, A., & Normando, D. (2020). Effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19: A systematic review. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.20064923>
- Miller, M. A., Viboud, C., Balinska, M., & Simonsen, L. (2009). The signature features of influenza pandemics - Implications for policy. *New England Journal of Medicine*, 360(25), 2595–2598. <https://doi.org/10.1056/NEJMp0903906>
- MITECO. (2020). Primeros indicios de correlación entre variables meteorológicas y propagación de la enfermedad COVID-19 y del virus SARS-CoV-2 en España. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/primeros-indicios-de-correlación-entre-variables-meteorológicas-y-propagación-de-la-enfermedad-covid-19-y-del-virus-sars-cov-2-en-españa/tcm:30-508652>
- Murray, K. A., Olivero, J., Roche, B., Tiedt, S., & Guégan, J. F. (2018). Pathogeography: leveraging the biogeography of human infectious diseases for global health management. *Ecography*, 41(9), 1411–1427. <https://doi.org/10.1111/ecog.03625>
- Murray, K. A., Preston, N., Allen, T., Zambrana-Torrel, C., Hosseini, P. R., & Daszak, P. (2015). Global biogeography of human infectious diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(41), 12746–12751. <https://doi.org/10.1073/pnas.1507442112>
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Neher, R. A., Dyrda, R., Druelle, V., Hodcroft, E. B., & Albert, J. (2020). Potential impact of seasonal forcing on a SARS-CoV-2 pandemic. *Swiss*

- Medical Weekly, 150, w20224. <https://doi.org/10.4414/smw.2020.20224>
- Ng, O.-T., Marimuthu, K., Chia, P.-Y., Koh, V., Chiew, C. J., De Wang, L., ... & Lee, V. J. M. (2020). SARS-CoV-2 Infection among Travelers Returning from Wuhan, China. *New England Journal of Medicine*, 6, NEJMc2003100. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2003100>
- Notari, A. (2020). Temperature dependence of COVID-19 transmission. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.26.20044529>
- O'Reilly, K., Auzenberg, M., Jafari, Y., Liu, Y., Flasche, S., & Lowe, R. (2020). Effective transmission across the globe: the role of climate in COVID-19 mitigation strategies. *CMMID Repository*, 3550308(20), 1–4. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30106-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30106-6)
- Oliveiros, B., Caramelo, L., Ferreira, N., & Caramelo, F. (2020). Role of temperature and humidity in the modulation of the doubling time of COVID-19 cases. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20031872>
- Olivera, A. (1993). *Geografía de la Salud*. Madrid: Síntesis.
- Omori, R., Mizumoto, K., & Chowell, G. (2020). Changes in testing rates could mask the novel coronavirus disease (COVID-19) growth rate. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 116–118. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.021>
- Oto-Peralías, D. (2020). Regional correlations of COVID-19 in Spain. *OSF Preprints*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/tjdgw>
- Otter, J. A., Donskey, C., Yezli, S., Douthwaite, S., Goldenberg, S. D., & Weber, D. J. (2016). Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: The possible role of dry surface contamination. *Journal of Hospital Infection*, 92(3), 235–250. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.08.027>
- Peiris, J. S. M., Lai, S. T., Poon, L. L. M., Guan, Y., Yam, L. Y. C., Lim, W., ... & Yuen, K. Y. (2003). Coronavirus as a possible cause of severe acute respiratory syndrome. *The Lancet*, 361(9366), 1319–1325. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)13077-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13077-2)
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Pirtle, E. C., & Beran, G. W. (1991). Virus survival in the environment. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 10(3), 733–748. <https://doi.org/10.20506/rst.10.3.570>
- Poirier, C., Luo, W., Majumder, M. S., Liu, D., Mandl, K., Mooring, T., & Santillana, M. (2020). The Role of Environmental Factors on Transmission Rates of the COVID-19 Outbreak: An Initial Assessment in Two Spatial Scales. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3552677>
- Price, R. H. M., Graham, C., & Ramalingam, S. (2019). Association between viral seasonality and meteorological factors. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37481-y>

- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3(4), 349–361. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00143.x>
- Reeves, T., Samy, A. M., & Peterson, A. T. (2015). MERS-CoV geography and ecology in the Middle East: Analyses of reported camel exposures and a preliminary risk map. *BMC Research Notes*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1789-1>
- Sajadi, M. M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F., & Amoroso, A. (2020). Temperature and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3550308>
- Sebastian, M. D., Holger, P. D., Annemarie, P. D., Kortenbusch, M., Jindrich, P. D., & Denisa, M. S. (2020). Correspondence Evidence of SARS-CoV-2 Infection in Returning Travelers from Wuhan, China. *The New England Journal of Medicine*. Recuperado de <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMc2001899?articleTools=true>
- Shaman, J., Goldstein, E., & Lipsitch, M. (2011). Absolute humidity and pandemic versus epidemic influenza. *American Journal of Epidemiology*, 173(2), 127–135. <https://doi.org/10.1093/aje/kwq347>
- Shi, P., Dong, Y., Yan, H., Li, X., Zhao, C., Liu, W., Xi, S. (2020). The impact of temperature and absolute humidity on the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - evidence from China. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.22.20038919>
- Soberón, J., Osorio-Olvera, L., & Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 437–441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Soberón, J., & Peterson, A. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>
- Stadler, K., Masignani, V., Eickmann, M., Becker, S., Abrignani, S., Klenk, H. D., & Rappuoli, R. (2003). SARS — beginning to understand a new virus. *Nature Reviews Microbiology*, 1(3), 209–218. <https://doi.org/10.1038/nrmicro775>
- Tan, J., Mu, L., Huang, J., Yu, S., Chen, B., & Yin, J. (2005). An initial investigation of the association between the SARS outbreak and weather: With the view of the environmental temperature and its variation. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 59(3), 186–192. <https://doi.org/10.1136/jech.2004.020180>
- Tobler, W. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234–240.
- Pacheco, M. T., Mota, J. F., Matos Medina, A., Scalco, P., Terribile, L. C., Vilela, B., ... & Dobrovolski, R. (2020). Exponential phase of covid19 expansion is not driven by climate at global scale. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20050773>
- Václavík, T., & Meentemeyer, R. K. (2012). Equilibrium or not? Modelling potential distribution of invasive species in different stages of invasion. *Diversity and Distributions*, 18(1), 73–83. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00854.x>

- van Doremalen, N., Bushmaker, T., & Munster, V. J. (2013). Stability of middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Eurosurveillance*, 18(38), 1–4. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., ... & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 82,1564-1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Wang, J., Tang, K., Feng, K., & Lv, W. (2020). High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3551767>
- WHO (2020a). Emergencies preparedness, response. Pneumonia of unknown origin – China. Disease outbreak news. Recuperado de <https://www.who.int/csr/don/05-january-2020-pneumonia-of-unknown-cause-china/en/>
- WHO (2020b). How are new infectious diseases named?. Recuperado de [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it)
- WHO (2020c). Novel Coronavirus (COVID-19). Situation. Recuperado de <https://experience.arcgis.com/experience/685d0ace521648f8a5beeece1b9125cd>
- WHO (2020d). Responding to community spread of COVID-19. Interim guidance.
- Worby, C. J., Chaves, S. S., Wallinga, J., Lipsitch, M., Finelli, L., & Goldstein, E. (2015). On the relative role of different age groups in influenza epidemics. *Epidemics*, 13, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2015.04.003>
- Wu, D., Wu, T., Liu, Q., & Yang, Z. (2020). The SARS-CoV-2 outbreak: what we know. *International Journal of Infectious Diseases*, 94(2020), 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.IJID.2020.03.004>
- Xie, J., & Zhu, Y. (2020). Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science of the Total Environment*, 724, 138201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>
- Zhu, G., & Peterson, A. T. (2014). Potential geographic distribution of the novel avian-origin influenza A (H7N9) virus. *PLoS ONE*, 9(4), 2–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093390>

Anexo

Tabla 1
Resumen de las investigaciones publicadas sobre la influencia de tiempo y clima en la propagación del SARS CoV-2

Referencia	Cobertura	Contribución principal
AL-Rousan & Al-Najjar (2020) Primera versión publicada: * 13/02/2020	China (provincias)	Efecto muy significativo del clima (radiación solar y temperatura) en la propagación del coronavirus en la mayoría de las provincias chinas.
Alvarez & Meraz (2020) Primera versión publicada: 23/03/2020	China (Wuhan)	Correlación significativa y negativa entre temperatura y número de casos diarios. Las correlaciones máximas presentan un desfase (lag) de 6 días.
Araújo & Naimi (2020) Primera versión publicada: 16/03/2020	Global	Brotes preferentemente agrupados en áreas relativamente frescas y secas. Si se mantienen las tendencias observadas, y a través de la calibración de modelos de envolturas bioclimáticas, se proyectan brotes estacionales y asincrónicos a nivel mundial.
Baker, Yang, Vecchi, Metcalf, & Grenfell (2020) Primera versión publicada: 07/04/2020	Global (ciudades) & Estados Unidos (regional)	Aunque las variaciones en la humedad puedan ser importantes en brotes endémicos, durante la etapa pandémica del SARS-CoV-2, el clima sólo puede influir en cambios modestos en el tamaño y la duración de la pandemia.
Bannister-Tyrrell, Meyer, Faverjon, & Cameron (2020) Primera versión publicada: 20/03/2020	Global	Puede haber una variabilidad estacional en la transmisión del SARS-CoV-2, pero la temperatura explica una cantidad relativamente modesta de la variación total en la incidencia de COVID-19.
Bariotakis, Sourvinos, Castanas, & Pirintzos (2020) Primera versión publicada: 23/03/2020	Global	De acuerdo con modelos de envolturas bioclimáticas, se proyecta un escenario con brotes globales estacionales asincrónicos, y se sugiere el uso de estos modelos bioclimáticos en el marco de las políticas de contención.
Bashir et al. (2020) Primera versión publicada: 20/04/2020	Estados Unidos (Nueva York)	Estudio exploratorio de carácter local, en el que se evidencia que la temperatura promedio, la temperatura mínima y la calidad del aire presentan una asociación significativa con la incidencia de COVID-19.
Bhattacharjee (2020) Primera versión publicada: 25/03/2020	China & Italia (ciudades)	La influencia de los factores ambientales (temperatura, humedad, viento) en la incidencia de COVID-19 no es importante, ni existen evidencias claras que permitan sostener que el nuevo coronavirus pueda volverse inactivo durante el verano.
Brassey, Heneghan, Mahtani, & Aronson (2020) Primera versión publicada: 22/03/2020	Global (revisión)	El tiempo frío y seco parece propiciar la propagación del SARS CoV-2 a través de dos mecanismos: 1) la estabilidad del virus; 2) el efecto en el huésped. Sin embargo, el efecto del tiempo atmosférico en la transmisión del virus es mínimo y todas las estimaciones están sujetas a sesgos significativos.

Briz & Serrano (2020) Primera versión publicada: 22/04/2020	España (provincias)	Análisis espacio-temporal del efecto de la temperatura diaria (media, mínima y máxima) sobre el número acumulado de casos de COVID-19. En los rangos térmicos estudiados en la fase temprana de la pandemia, no se encuentran evidencias que sugieran que temperaturas más cálidas puedan propiciar una reducción de los casos.
Bu et al. (2020) Primera versión publicada: 18/02/2020	China	Las condiciones ambientales favorables para la supervivencia y propagación del virus son: una temperatura entre 13 y 24°C, una humedad relativa entre 50 y 80%, y una precipitación mensual inferior 30 mm. Temperaturas superiores a 24°C pueden reducir el progreso de la epidemia.
Bukhari & Jameel (2020) Primera versión publicada: 19/03/2020	Global (países)	Entre enero y marzo de 2020, para cada período de 10 días, el máximo número de casos nuevos de COVID-19 se ha producido en regiones con una temperatura media entre 4 a 10°C y una humedad absoluta entre 3 a 9 g/m³. En regiones con una temperatura >17°C y una humedad absoluta >9 g/m³, el número de casos es claramente menor.
Chen et al. (2020) Primera versión publicada: 20/03/2020	Global (ciudades)	Se desarrolla un modelo meteorológico (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento) que predice globalmente el brote con una alta correlación ($r^2 > 0,6$) a corto plazo (12 días).
Chin et al. (2020) Primera versión publicada: 18/03/2020 (esta fecha se refiere a la primera preimpresión)	Diseño experimental	Se demuestra que, en condiciones controladas, el virus es muy estable a 4°C durante un período prolongado y sensible al calor, inactivándose en 5 minutos a 70 °C.
Ficetola & Rubolini (2020) Primera versión publicada: 27/03/2020	Global	Entre enero y marzo de 2020, las tasas de crecimiento de COVID-19 alcanzaron su punto máximo en las regiones templadas del hemisferio norte con una temperatura media de ~5°C y una humedad específica de 4-6 g/m³. Encuentran una relación significativa con el clima local y sugieren la posibilidad de una variación estacional en el patrón espacial de los brotes de COVID-19.
Gupta (2020) Primera versión publicada: 23/03/2020	China (provincias)	Detectan un efecto de la temperatura sobre la propagación de la COVID-19, pero en un escenario de confinamiento y distanciamiento social. En promedio, por encima de 5°C de temperatura ambiental, el aumento de cada grado centígrado se asocia con una reducción del 10% en la infectiosidad.
Harbert, Cunningham, & Tessler (2020) Primera versión publicada: 10/04/2020	Estados Unidos (condados)	La densidad de población parece ser el factor principal en la propagación de la COVID-19, mientras que el clima no juega un papel central, aunque no puede descartarse su influencia. Se asume que el SARS-CoV-2 puede extenderse por todo el país.
Holtmann, Jones, Shah, & Holtmann (2020) Primera versión publicada: 06/05/2020	Global (países)	Se encuentra una asociación entre la temperatura ambiente y el tiempo para diagnosticar 100 nuevos casos de COVID-19, después de que se hayan diagnosticado los 100 primeros. Las temperaturas ambientales bajas se asocian con una propagación más rápida de la COVID-19 en la fase temprana del brote endémico.
ISCHL & AEMET (2020) Primera versión publicada: 14/04/2020	España (provincias)	Detectan una correlación negativa entre el índice de incidencia acumulado en los últimos 14 días —número de contagios nuevos diarios por cada 100.000 habitantes— y la temperatura promedio registrada en el mismo periodo.

Jóni et al. (2020) Primera versión publicada: 08/05/2020	Global (áreas geopolíticas)	Hasta el 20 de marzo de 2020, de acuerdo con una regresión ponderada de efectos aleatorios, se encuentra que el crecimiento epidémico de COVID-19 no se asoció con la latitud y la temperatura, pero sí —de forma muy débil— con la humedad relativa o absoluta. Por el contrario, las intervenciones de salud pública se asociaron fuertemente con un crecimiento epidémico reducido.
Ma et al. (2020) Primera versión publicada: 26/03/2020	China (Wuhan)	Desde el 20 de enero hasta el 29 de febrero de 2020 se observa que la mortalidad diaria por COVID-19 se asocia positivamente ($r > 0,44$) con la amplitud térmica diaria y negativamente ($r > -0,32$) con humedad absoluta.
Mecenas, Bastos, Vallinoto, & Normando (2020) Primera versión publicada: 17/04/2020	Global (revisión)	Se encuentra una gran homogeneidad en los resultados de los estudios publicados sobre el efecto de la temperatura y la humedad sobre la COVID-19, pero se considera que los resultados obtenidos en los trabajos revisados presentan sesgos entre moderados y altos, así como una baja certeza general de la evidencia científica sobre dicho efecto.
Neher, Dyrda, Druelle, Hodcroft, & Albert (2020) Primera versión publicada: 16/03/2020	Global	Las simulaciones de modelos epidemiológicos parametrizados para el SARS-CoV-2 muestran un pequeño pico de la pandemia a principios de 2020 en las regiones templadas del hemisferio norte y un pico más grande en el invierno 2020/2021. Aunque la incertidumbre es alta, se considera que las reducciones transitorias en la tasa de incidencia podrían deberse a una combinación de variación estacional y medidas de contención.
Notari (2020) Primera versión publicada: 27/03/2020	Global (países)	Se encuentra que, durante las primeras etapas de la fase pandémica, la tasa de crecimiento de la incidencia por COVID-19 disminuye con el aumento de la temperatura media, con un pico de transmisión máxima en regiones con una temperatura media de $7,7 \pm 3,6$ °C.
Oliveiros, Caramelo, Ferreira, & Caramelo (2020) Primera versión publicada: 08/03/2020	China (provincias)	Entre el 23 de enero y el 1 de marzo de 2020, la tasa de propagación de COVID-19 —medida en tiempo de duplicación— se correlaciona positivamente con la temperatura e inversamente con la humedad, aunque en el mejor modelo estas variables meteorológicas sólo explican el 18% de la variación.
O'Reilly et al. (2020) Primera versión publicada: 06/05/2020	Global (países)	Hasta el 8 de abril de 2020, 180 países habían notificado transmisión local del SARS-CoV-2. Conjuntamente, estos países abarcan todas las zonas climáticas donde habita el ser humano.
Oto-Peralías (2020) Primera versión publicada: 24/04/2020	España (provincias)	Detecta una relación negativa y significativa entre la temperatura promedio durante los meses de febrero y marzo de 2020 y los casos de COVID-19 acumulados a 1 de abril de 2020. Sin embargo, comparando los datos entre la primera y segunda quincena de marzo, en las provincias en las que se produjo un mayor incremento de la temperatura media no se observó un menor incremento de casos confirmados.
Pacheco et al. (2020) Primera versión publicada: 06/05/2020	Global (países)	A escala mundial, durante la fase exponencial de la pandemia, las conexiones globales (transporte aéreo) representan el mejor predictor de la tasa de crecimiento de COVID-19 en diferentes países. No se encontró un efecto significativo de las variables climáticas (temperatura y precipitación) en la fase exponencial de COVID-19. Si no se toman medidas de contención suficientes, se prevé una pandemia sincrónica global.

Poirier et al. (2020) Primera versión publicada: 12/03/2020	China (provincias y ciudades)	A dos escalas espaciales distintas, provincias y ciudades, se observa el mismo patrón: las variables ambientales (temperatura y humedad), por sí solas, no explican la variabilidad en las tasas de transmisión de la COVID-19, aunque cuando se analizaron los datos sin filtrado previo (eliminación de ruido), la temperatura mostró una relación negativa.
Sajadi et al. (2020) Primera versión publicada: 09/03/2020	Global	Se observó que la distribución de los principales brotes con propagación comunitaria se produjo a lo largo de una restringida franja de latitud (30° a 50° N), temperatura (5 a 11°C) y humedad absoluta (4-7 g/m³), un patrón consistente con el comportamiento de un virus respiratorio estacional.
Shi et al. (2020) Primera versión publicada: 24/03/2020	China (provincias)	Hasta el 29 de febrero de 2020, la mayor incidencia de COVID-19 se produce en áreas con una temperatura media cercana a los 10°C y una humedad absoluta de 7 g/m³.
Wang, Tang, Feng, & Lv (2020) Primera versión publicada: 10/03/2020	China (ciudades)	Se estudia el número básico de reproducción (R) para cada una de las 100 ciudades chinas con más de 40 casos usando los valores diarios del 21 al 23 de enero de 2020, y se encuentra que una alta temperatura y una alta humedad reducen significativamente la transmisión del virus.
Xie & Zhu (2020) Primera versión publicada: 30/03/2020	China (ciudades)	A través de un modelo calibrado con los datos diarios recabados, entre el 23 de enero y el 29 de febrero de 2020, en 122 ciudades, las curvas de exposición-respuesta sugieren que la relación entre la temperatura media y los casos confirmados por COVID-19 es aproximadamente lineal en el rango de < 3° C, pero se vuelve plana por encima de 3°C.

Elaboración propia

* Dada la naturaleza emergente del fenómeno analizado y la existencia de series temporales muy cortas, se recomienda tener en cuenta la fecha de publicación de los trabajos revisados. Hay trabajos que se han publicado en sucesivas versiones e incluso han pasado de estar en formato de preimpresión a convertirse en artículos publicados con el sistema peer review. Entonces, la fecha de publicación se refiere siempre a la primera versión.

Notas de autor

olivergh@uma.es

Declaración de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo.

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo.

Información adicional

Cita bibliográfica: Gutiérrez-Hernández, O., & García, L.V. (2020). ¿Influyen tiempo y clima en la distribución del nuevo coronavirus (SARS CoV-2)? Una revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Investigaciones Geográficas*, (73), 31-55. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.GHVG>