

La propagación de la COVID-19 en España y Brasil según tiempo y clima

Lluís FRANCÉS MARTÍNEZ^{1,2}, César DONADO-MAZARRÓN MORALES³

¹AEMET, Delegación Territorial en Valencia

²Universidad de Alicante.

<https://orcid.org/0000-0001-5250-0638>, lluisfrancesmartinez@gmail.com

³Universidad de Alicante

<https://orcid.org/0000-0002-2634-9089>

Resumen: Este artículo de investigación busca conocer la influencia de la propagación del virus COVID-19 a través de la temperatura y de la humedad en España y Brasil. *Métodos:* Para el cálculo de la variación mensual del índice de propagación del virus COVID-19 por provincias en España se han utilizado, en primer lugar, las series climáticas de la AEMET de España e INMETRO de Brasil. Se han extraído las medias correspondientes y después se han sometido los datos a un proceso de homogeneización, para posteriormente poder calcular el incremento mensual de temperatura y de humedad por provincias y estados. Este proceso metodológico establece una relación directamente proporcional entre el aumento de la temperatura y de la humedad con el índice de propagación del virus COVID-19. *Resultados:* En España, las condiciones climáticas favorecerán la disminución o aumento del índice reproductivo del virus. En Brasil, las condiciones climáticas no favorecerán la disminución del índice reproductivo del virus y, climatológicamente, no existe un periodo óptimo para una desescalada y vuelta a la normalidad. Las variaciones de las condiciones climáticas en Brasil no son significativas, por lo que el clima de Brasil no influye en la disminución de propagación del virus. *Conclusión:* El clima influye en la propagación del virus.

Palabras clave: COVID-19; transmisión de enfermedad infecciosa; clima; temperatura; humedad.

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad COVID-19 se hizo pública por primera vez en diciembre del año 2019 en la ciudad china de Wuhan^[1], localidad que estuvo confinada cuando el brote se transformó en epidemia^[2,3]. El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró el brote de COVID-19 como una pandemia global^[4,5].

En la actualidad, el virus se encuentra o se ha encontrado en todos los países del mundo, aunque con la llegada de las vacunas, se ha sostenido su propagación. Sin embargo, las diferentes mutaciones^[6] están provocando un auténtico quebradero de cabeza a las autoridades de los estados afectados. Se está acelerando el proceso de inoculación, principalmente en los estados de mayor producto interior bruto (PIB), quedando rezagados los países de menores recursos económicos o de políticas insostenibles con las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud.

En este artículo se realiza un estudio científico sobre la influencia de la propagación del virus COVID-19 a través de las condiciones climáticas en España y Brasil. Un ambiente fresco y seco es el más idóneo para la propagación del SARS-CoV-2. Además, las condiciones climáticas condicionan los comportamientos sociales^[7] y ellos marcan la transmisión de la enfermedad. Atendiendo a la diferenciación de las zonas climáticas tanto de Brasil^[8,9] como de España^[8,9] y a que los puntos de captación de datos se encuentran situados cercanos a zonas urbanas, la condición social y las condiciones climáticas le sugieren mayor credibilidad al estudio. Se ha recabado la información climática de dos fuentes oficiales, la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) y la Agencia Nacional de Meteorología vinculada al Ministerio de Agricultura del Gobierno de Brasil (INMETRO) y se ha aplicado una expresión matemática propia que permite digitalizar la

información por estados y provincias para posteriormente ser representadas cartográficamente. De esta forma, se localizan las zonas de mayor incidencia de propagación a causa de factores climáticos. Con la documentación adquirida y procesada, tanto la propia como la de la fuente documental, se han generado una serie de mapas para cada uno de los meses del año representando el incremento del índice reproductivo en función de los factores climáticos.

Analizar a España y Brasil, a modo comparativo, sirve para conocer la influencia de la propagación del virus COVID-19 en diferentes latitudes y siempre a través de la temperatura y la humedad, con los datos de las medias de temperatura y de humedad relativa por estados, aportando los datos de la serie climática 1981-2010 de INMET, Agencia Nacional de Meteorología vinculada al Ministerio de Agricultura del Gobierno de Brasil^[10,11] y con datos de las medias de temperatura y de humedad relativa por provincias de la serie climática 1981-2010 de la AEMET, Agencia Estatal de Meteorología del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España^[10,11]. Este artículo de investigación busca conocer la influencia de la propagación del virus COVID-19 a través de la temperatura y de la humedad en España y Brasil.

2. MÉTODOS

Para el cálculo de la variación de R (número básico de reproducción de una infección) mensual por provincias en España se han utilizado, en primer lugar, las series climáticas de la AEMET^[8,9] e INMETRO^[10,11]. Se han extraído las medias correspondientes de precipitación y de humedad, a continuación se han sometido los datos a un proceso de homogeneización, para posteriormente poder calcular el incremento mensual de temperatura y de humedad por provincias y estados.

Los datos contrastados y aportados por estudios chinos^[12] son de capital importancia para este proceso metodológico, ya que establecen una relación directamente proporcional entre el aumento de temperatura y de humedad con el número R.

Previo proceso de digitalización de los datos con software GIS de escritorio, se aplica la siguiente expresión matemática de elaboración propia a las series previamente tratadas proporcionadas por AEMET^[10,11]:

$$\Delta R = [(HR_m - (HR_m - 1)) \times \omega(br)] + [(T_m - (T_m - 1)) \times \omega(t)]$$

Donde: ΔR es el incremento del número R; HR_m es la humedad media mensual de «m» mes; $HR_m - 1$ es la humedad media mensual de «m» mes menos 1, es decir, del mes anterior; T_m es la temperatura media mensual de «m» mes; $T_m - 1$ es la temperatura media mensual de «m» mes menos 1, es decir, del mes anterior; $\omega(br)$ es el incremento de R relativo a la humedad^[10]; $\omega(t)$ es el incremento de R relativo a la temperatura^[10].

Para finalizar, habiendo obtenido el incremento del número R por provincias utilizando la anterior fórmula, se procede a exportar los datos obtenidos a una base de datos, la cual será unida mediante software GIS de escritorio a una capa «.shp» poligonal contenedora de las provincias españolas. Esta capa provincial es obtenida del Instituto Geográfico Español (IGN)^[13]. Finalmente se procesan y se maquetan los mapas resultantes.

Las medias de temperatura, anteriormente mencionadas, provienen de series climáticas fiables (T = 30 años), y se han obtenido de un total de 91 observatorios de AEMET^[14] en el caso de España.

Para Brasil, la metodología es muy similar en los primeros pasos, ya que se realiza de la misma manera: un barrido de datos meteorológicos/climáticos, en este caso, proporcionados por INMETRO^[8,9] y, posteriormente, se procesan del mismo modo con el fin de obtener el incremento de humedad y de temperatura mensual por estado. En el caso de Brasil, los datos resultantes del anterior procesado de datos, indican que la variación tanto térmica como de humedad relativa mensual es demasiado uniforme, ya que al no existir un incremento notable de temperatura y de humedad por meses, la variación, en su proporción de R, sería prácticamente inexistente.

3. RESULTADOS

Los datos recabados de medias de temperatura y de humedad relativa de la serie 1981-2010 de la Agencia Estatal de Meteorología^(10,11) proceden principalmente de estaciones enclavadas en zonas periurbanas, por lo que esos datos aplicados al índice de propagación aportan, como ya se ha indicado anteriormente, un valor añadido a la fiabilidad del estudio. Se utiliza la serie climática 1981-2010 porque los registros climáticos largos de calidad forman la base para la investigación del clima^[14]. La preparación de datos climáticos homogéneos con un largo recorrido temporal y probada calidad es, por tanto, un paso previo imprescindible para la realización de cualquier estudio climático. Por lo tanto, es necesario atender a series climáticas para relacionar la propagación del virus COVID-19 según condiciones climáticas.

En la serie cartográfica, por meses, se observa y se interpreta la evolución de la variación del índice R en función del clima sobre el territorio español y, prácticamente, calca lo que ha ocurrido durante el primer año de pandemia en España^[15].

Noviembre y diciembre (figura 1) vuelven a ser, de forma general, meses con mayor índice de propagación positiva, aunque de forma contenida y sin los valores porcentuales que ostentan los meses con incrementos más elevados y que se sitúan entre enero y marzo. Todo, por supuesto, refiriéndose a la variación de R exclusivamente en cuanto a factores climáticos. Se atiende a variables según connotaciones climáticas de cada zona de estudio (orografía, regímenes de vientos, temperatura, humedad relativa, altitud, radiación solar, índice de insolación, etc.), que se encuentran en las medias climáticas para el proceso de homogeneizar el índice reproductivo del virus con las condiciones climáticas de cada zona urbana de estudio.

Haciendo un resumen general de lo que muestra la serie cartográfica anual durante los primeros meses del año, que enmarca desde enero a marzo, se acentúa la variación positiva mensual del índice, producida exclusivamente por condiciones climáticas en prácticamente toda la península, con excepciones meramente orográficas y de vientos estacionales, como sucede en Lleida capital durante el mes de febrero. Los meses de mayor incidencia del virus serían enero y febrero (figura 2). Desde abril hasta el mes de agosto, incluso habiendo determinadas zonas peninsulares donde la humedad relativa es más baja, el índice de propagación supondrá un claro retroceso debido a la peculiaridad climática de la península. Los meses de mayo y junio se presentan como los de menor incidencia del virus según condiciones climáticas (figura 3), se sostiene en julio y agosto (figura 4), pero empieza a repuntar la incidencia concluido el verano climático. En los meses de septiembre y octubre, dicho índice inicia un recorrido hacia positivo por la vertiente septentrional peninsular, quedando la meridional en negativo.

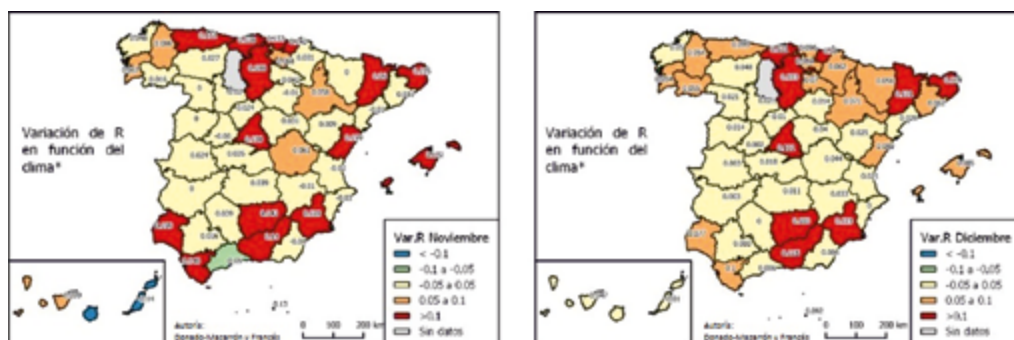


Figura 1. Variación de R en función del clima por provincias de España en los meses de noviembre y diciembre. 2020.

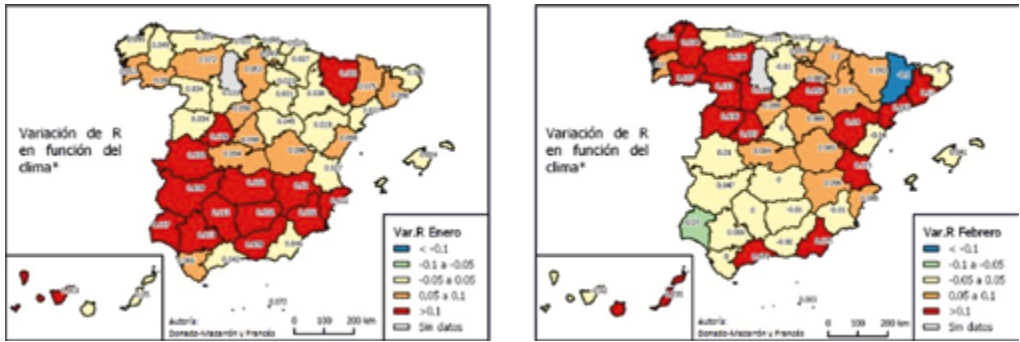


Figura 2. Variación de R en función del clima por provincias de España en los meses de enero y febrero, 2020.

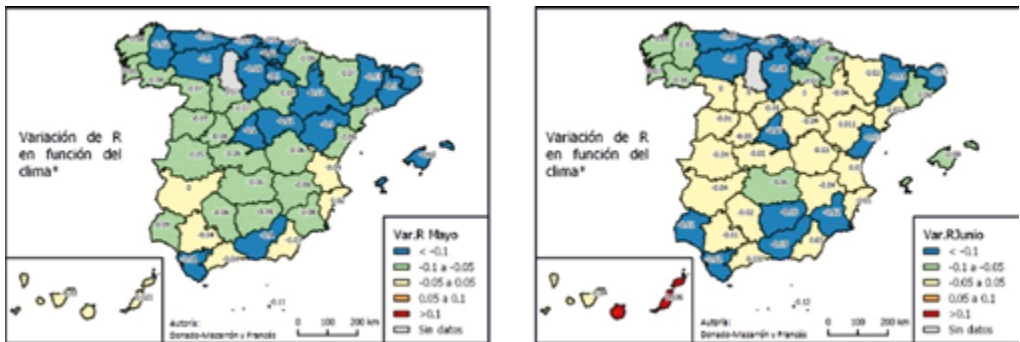


Figura 3. Variación de R en función del clima por provincias de España en los meses de mayo y junio, 2020.

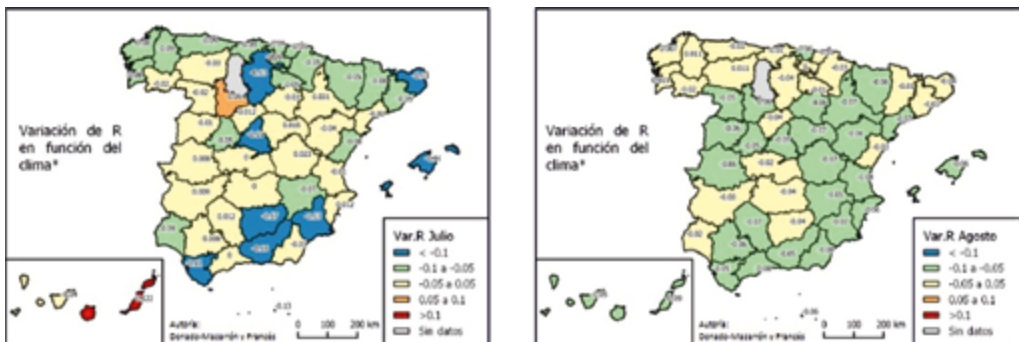


Figura 4. Variación de R en función del clima por provincias de España en los meses de julio y agosto, 2020.

Con relación a Brasil, los datos recabados de medias de temperatura y de humedad relativa de la serie 1981–2010 de INMETRO^[8,9] proceden principalmente de estaciones enclavadas en zonas urbanas y rurales, aportando una relación certera entre propagación del virus COVID-19 y condiciones climáticas, tal y como se ha indicado en el apartado para España. Haciendo un resumen general de lo que mostraría la serie cartográfica anual, la variación producida exclusivamente por condiciones climáticas, en prácticamente todo Brasil, sería, de hecho, nula o insignificante (figura 5). Por lo tanto, no da lugar a continuar con el análisis ya que, al no existir un incremento notable de temperatura y de humedad por meses, la variación, en su proporción de R, sería prácticamente inexistente.

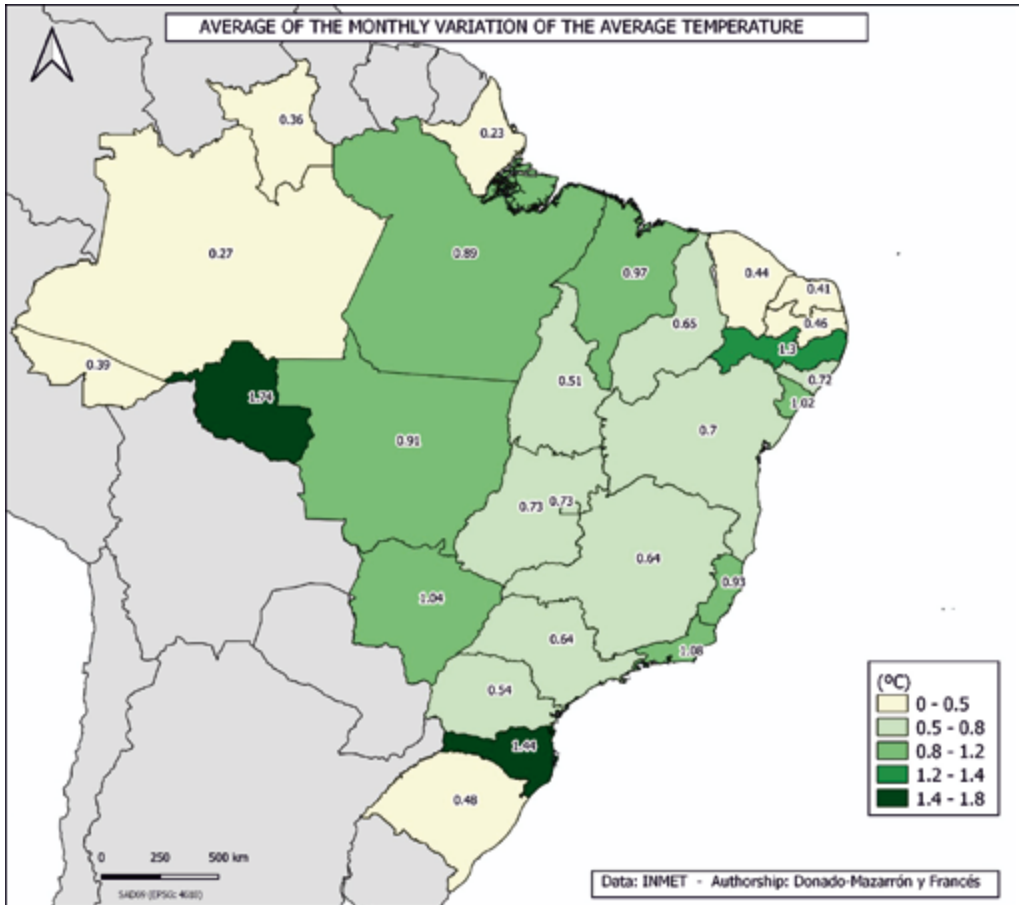


Figura 5. Promedio de variación térmica media mensual. 2020.

4. DISCUSIÓN

Dentro de esta área se extenderán los resultados desde una perspectiva únicamente basada en condiciones climáticas. El punto más importante que se trata en este trabajo de investigación son los principales factores relacionados con el tiempo y el clima: la temperatura y la humedad relativa del aire. Es irrefutable que el estado de la temperatura y de la humedad relativa influye en la incidencia de la propagación del SARS-CoV-2 en espacios exteriores durante las estaciones climáticas.

Con este trabajo se aportan datos concluyentes para espacios exteriores ya que, sólo a través del valor de incidencia aplicado a un espacio climático de incidencia antrópica^[16], se genera una cartografía sinóptica con los índices de propagación del SARS-CoV-2, circunstancia que no aporta ningún trabajo científico hasta la fecha de hoy. Con relación a espacios interiores y a cómo las variables se multiplican y son de clara connotación social, queda constatado que las variables se multiplican para una mayor o menor propagación del SARS-CoV-2^[17].

Los trabajos que se analizan inciden en que un ambiente fresco y seco es más prolífico para el SARS-CoV-2^[18]. Queda demostrado en condiciones experimentales y climáticas^[19], y que entre latitudes 30° y 50°^[18], la propagación del virus es principalmente estacional, sin embargo

entre latitudes 0° y 30°, al no existir una diferencia termométrica significativa, la propagación del virus no atiende a condiciones climáticas exclusivamente.

Un punto muy importante, los coronavirus se encuentran dentro de la familia de virus lipofílicos, recubiertos por una capa grasa^[20], la investigación sobre otros virus envueltos es un indicador de que la capa grasa hace que estos virus sean más susceptibles al calor que aquellos que no la tienen, lo que explica su estacionalidad^[21]. Después de más de un año de pandemia, queda constatado que el verano y las acciones de contención social frenan la transmisión del virus^[15]. Especialmente, las duras restricciones sociales que paralizan de forma abrupta dicha propagación sin atender a condiciones climáticas, por lo que es preciso apoyarse en una simbiosis entre ambos parámetros para mejorar las condiciones sociales en tiempos de pandemia del SARS-CoV-2.

Prácticamente todos los estudios de observación se han basado en contagios entre seres humanos, por lo que la densidad de población y las conductas sociales son los valores más importantes en la propagación del SARS-CoV-2, sin embargo, hay que insistir y, con mucho énfasis, que el clima condiciona las conductas sociales^[7] y este es un baremo de medición de acciones para frenar la transmisión del SARS-CoV-2.

Hay disparidad de espacios climáticos en los trabajos realizados y consultados. Sin embargo, debe matizarse que la incidencia del SARS-CoV-2, fuera del cuerpo humano, depende de las condiciones climáticas. Es una obviedad y se pone de manifiesto para otros virus como el SARS-CoV, el MERS-CoV, el DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4 y el de la gripe^[22-24]. Se mantienen las condiciones experimentales y todo apunta a que el SARS-CoV-2 se estabiliza con aerosoles durante un espacio de tiempo, sin embargo, permanece por espacio más prolongado en superficies sólidas^[22,25]. Otro de los puntos al que ha de colocarse mayor énfasis es el de la propagación del virus en entornos abiertos y cerrados. Según las condiciones climáticas y la época del año, el ser humano es conducido hacia un comportamiento social diferente por culturas o tradiciones, bien a espacios cerrados cuando hace frío o a espacios abiertos cuando hay buen tiempo. Es obvio, pero no deja de ser un condicionante esencial a la hora de la transmisión del virus entre seres humanos. Ya no sólo de forma directa en espacios cerrados sino de forma indirecta, si no existen condiciones de salubridad y de limpieza continuadas.

Gracias al trabajo realizado, se ofrece una evidencia suficiente y sin ambigüedades hacia el método científico de que las condiciones climáticas condicionan la propagación del SARS-CoV-2 y como ejemplo se ofrece la comparativa entre España y Brasil. Para España, las condiciones climáticas y las medidas de contención^[26] han logrado regular la propagación del virus al contrario que en Brasil al no haber un periodo óptimo para el control en la propagación del virus (en cuanto a condiciones climáticas se refiere) ya que, como se ha dicho anteriormente, la oscilación/variación climática a lo largo del año es prácticamente nula.

En España coincide un aumento de la temperatura con el descenso de humedad, mientras que no existe un periodo óptimo para generar un orden en la propagación del virus en Brasil, ya que las variaciones de las condiciones climáticas en Brasil no son significativas, por lo que el clima no influye en la disminución de propagación del virus. Esto provoca que sea necesario el control de los movimientos sociales^[27,28] por parte de las instituciones públicas brasileñas mientras no haya una inmunidad de rebaño^[29], para contener la propagación vírica y continuar con el proceso de vacunación actual.

En latitudes de 30° a 50° es necesario aprovechar los meses de baja transmisión para adaptarse al virus en caso de no disponer de vacunas. Climatológicamente, el periodo estival es óptimo para una desescalada, vuelta a la normalidad o adaptación al virus en España. Sin embargo, las condiciones climáticas no favorecerán la disminución del índice reproductivo del virus en Brasil.

5. CONCLUSIONES

La cartografía sinóptica mensual aplicada al efecto del clima y al tiempo atmosférico en la propagación del virus SARS-CoV-2 es una herramienta muy eficaz para cualquier estudio que busque racionalizar métodos de prevención y estrategias para contener la propagación del virus en su territorio atendiendo a factores climáticos que condicionan a la sociedad.

En resumen, el tiempo y el clima influyen en la propagación del virus SARS-CoV-2 por su condición biológica. Las variaciones climáticas condicionan la conducta social y gracias a ellas se genera una mayor o menor propagación del SARS-CoV-2. Se entiende, según los datos recabados, que la propagación del virus en zonas climáticas entre latitudes de 30° a 50° sigue siendo superior con respecto a otras zonas desde que comenzó la pandemia y entre los meses de octubre a marzo en el hemisferio norte. Además, según el informe y sus interpretaciones, conforme se avance a la época invernal en el hemisferio sur, la propagación en cuanto a factores climáticos también sufrirá un pico ascendente entre los mismos paralelos. Sin embargo, hay que atender a variables según connotaciones climáticas de cada zona de estudio (orografía, regímenes de vientos, temperatura, humedad relativa, altitud, radiación solar, índice de insolación, etc.), que se encuentran en las medias climáticas.

REFERENCIAS

- HUI, D. S. *et al.*, 2020. The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health - The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Int. J. Infect. Dis.*, 91, 264-266. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31953166/>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020. Naming the coronavirus disease (COVID-19) 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](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it).
- ZHOU, P. *et al.*, 2020. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579: 270-273. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, s. f. Novel Coronavirus (COVID-19. <https://experience.arcgis.com/experience/685d0ace521648f8a5beeeee1b9125cd>.
- CALLAWAY, E., 2020. Time to use the p-word? Coronavirus enters dangerous new phase. *Nature*, 579: 12. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00551-1>.
- QUIROGA, S., 2021. Mutaciones del SARS-CoV-2: urge la vacunación rápida. *Gaceta Médica*, 2021. <https://gacetamedica.com/opinion/mutaciones-del-sars-cov-2-urge-la-vacunacion-rapida/>.
- VALERA BERNAL, F. J., s. f. El tiempo y el clima como condicionantes de las actividades humanas. Divulgameteo. <https://www.divulgameteo.es/uploads/Tiempo-clima-condicionantes.pdf>.
- GONSALVES, R., 2020. Temperaturas medias por estados de Brasil. Brasília: Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Agricultura del Gobierno de Brasil.
- GONSALVES, R., 2020. Humedad relativa media por estados de Brasil. Brasília: Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Agricultura del Gobierno de Brasil.
- FRANCÉS, L. y DONADO-MAZARRÓN, C., 2020. Temperaturas medias por provincias de España. Alicante: Agencia Estatal de Meteorología.
- FRANCÉS, L. y DONADO-MAZARRÓN, C., 2020. Humedad relativa media por provincias de España. Alicante: Agencia Estatal de Meteorología.
- WANG, J. *et al.*, 2021. Impact of Temperature and Relative Humidity on the Transmission of COVID-19: a Modeling Study in China and the United States. *BMJ Open*, 11(2): e043863. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3551767.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DE ESPAÑA, s. f. Cartografía y Datos geográficos. Madrid: Instituto Geográfico Nacional (consultado el 12/05/2021). <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>.
- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA, s. f. Registros climáticos (consultado el 13/05/2021). http://www.aemet.es/ca/idi/clima/registros_climaticos.
- CNE COVID, s. f. Número de casos (consultado el 12/05/2021). <https://cnecovid.isciii.es/covid19/>.

16. DALZIEL, B. *et al.*, 2018. Urbanization and humidity shape the intensity of influenza epidemics in U.S. cities. *Science*, 362(6410): 75-79. <https://science.sciencemag.org/content/362/6410/75>.
17. COWLING, B., FANG, V., RILEY, S., MALIK PEIRIS, J. y LEUNG, G., 2009. Estimation of the serial interval of influenza. *Epidemiology*, 20(3): 344-347. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19279492/>.
18. SHAMAN, J. y KOHN, M., 2009. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *PNAS*, 106(9): 3243-3248. <https://www.pnas.org/content/106/9/3243>.
19. CHIN, A. W. H. *et al.*, 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *The Lancet Microbe*, 1(1): e10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666524720300033?via%3Dihub>.
20. LAI, M. M. C. y CAVANAGH D., 1997. The Molecular Biology of Coronaviruses. *Adv. Virus Res.*, 48:1-100. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065352708602869#aep-abstract-id9>.
21. PRICE, R. H. M., GRAHAM, C. y RAMALINGAN, S., 2019. Association between viral seasonality and meteorological factors. *Scientific Reports*, 9. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-37481-y>.
22. LOWEN, A., STEEL, J., MUBAREKA, S. y PALESE, P., 2008. High temperature (30 °C) blocks aerosol but not contact transmission of influenza virus. *J. Virol.*, 82(11): 5650-5652. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2395183/>.
23. VAN DOREMALEN, N. *et al.*, 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med.*, 382(16): 1564-1567. doi: 10.1056/NEJMc2004973. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32182409/>.
24. STEEL, J., PALESE, P. y LOWEN, A. C., 2011. Transmission of a 2009 pandemic influenza virus shows a sensitivity to temperature and humidity similar to that of an H3N2 seasonal strain. *J. Virol.*, 85(3): 1400-1402. <https://doi.org/10.1128/JVI.02186-10>.
25. VAN DOREMALEN, N., BUSHMAKER, T. y MUNSTER, V. J., 2013. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Euro Surveill.*, 18(38). <https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>.
26. GOBIERNO DE ESPAÑA, s. f. Crisis sanitaria COVID-19. Atención e información. [Administracion.gob.es](https://administracion.gob.es) (consultado el 12/05/2021). https://administracion.gob.es/pag_Home/atencionCiudadana/Crisis-sanitaria-COVID-19.html#.YJ4r9dSLSst8.
27. WALLINGA, J. y TEUNIS, P., 2004. Different epidemic curves for severe acute respiratory syndrome reveal similar impacts of control measures. *Am. J. Epidemiol.*, 160: 509-16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15353409/>.
28. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020. Responding to community spread of COVID-19: interim guidance (consultado el 12/05/2021). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331421>.
29. BOLAND, B., 2020. ¿Qué es la Inmunidad de Rebaño? *Banner Health* (consultado el 11/05/2021). <https://www.bannerhealth.com/es/healthcareblog/teach-me/what-is-herd-immunity>.