

INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL RIESGO DE PROPAGACIÓN DE LA COVID-19 EN CHILE Y URUGUAY

Mabel C. Marulanda ^{1*}, Gabriel A. Bernal ^{2,4} y Omar Darío Cardona ^{3,4}

RESUMEN

Evaluar el riesgo debido a la pandemia Covid-19, a diferencia de otras amenazas, no es una actividad limitada a la fase previa a la reducción del riesgo sino un proceso simultáneo, permanente y que debe tener en cuenta la retroalimentación de las decisiones que se estén implementando durante la prevención/reducción del riesgo y el manejo de la emergencia. Medidas como intensificar la pedagogía, el aislamiento, u otras, tienen implicaciones económicas y sociales que pueden ser diferenciales dentro de un país, dependiendo de la prevalencia de ciertas condiciones, incluidas las variables climáticas. Este artículo evalúa cómo la temperatura y la humedad absoluta en el ambiente pueden influenciar la supervivencia y transmisibilidad del SARS-CoV-2. Se estima el índice de transmisibilidad climática para Chile y Uruguay, mes por mes, con base en información meteorológica disponible a nivel global (CHIRPS, Universidad de Princeton), generando simulaciones de temperatura y humedad para estos países. Aunque estos parámetros no son los únicos factores que contribuyen al aumento o disminución del contagio del virus, los resultados son útiles para anticipar medidas de contención, mitigación, control y seguimiento que pueden reducir o evitar rebrotes en las condiciones climáticas más propicias para la supervivencia y transmisibilidad del virus.

PALABRAS CLAVES

Covid-19, SARS-CoV-2, Coronavirus, Variables climáticas, IPTCC

INFLUENCE OF CLIMATIC VARIABLES ON THE RISK OF COVID-19 PROPAGATION IN CHILE AND URUGUAY

ABSTRACT

Estimating risk due to the Covid-19 pandemic, unlike other hazards, is not an activity limited to the previous phase to risk reduction but a simultaneous, ongoing process that must take into account feedback from decisions being implemented during prevention/risk reduction and emergency management. Measures like intensifying pedagogy, isolation or others over time that may have economic and social implications, can be differential within a country, depending on the prevalence of certain conditions, such as climate variables. This article evaluates how temperature and absolute humidity in the environment can influence the survival and transmissibility of SARS-CoV-2. The climatic transmissibility index is estimated for Chile and Uruguay, month by month, based on simulations of temperature and humidity for these two countries, generated using meteorological information available at global level (CHIRPS, Princeton University). Although these parameters are not the only factors that favor or contribute to an increase or decrease in the spread of the virus, these types of results are useful for anticipating measures of containment, mitigation, control and monitoring that can reduce or avoid outbreaks in climatic conditions most favorable to the survival and transmissibility of the virus.

KEYWORDS

Covid-19, SARS-CoV-2, Coronavirus, Climatic variables, IPTCC

1. Centro de Investigación para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres CIGIDEN, Santiago, Chile.

2. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

3. Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

4. INGENIAR Risk Intelligence, Bogotá, Colombia.

*Autora de correspondencia: mabel.marulanda@cigiden.cl

Identificador:

<http://revistareder.com/handle-0719-8477-2020-075>

RECIBIDO

26 de agosto de 2020

ACEPTADO

21 de septiembre de 2020

PUBLICADO

1 de enero de 2021

Formato cita

Recomendada (APA):

Marulanda, M.C., Bernal, G.A. & Cardona, O.D. (2021). Influencia de Variables Climáticas en el Riesgo de Propagación de la Covid19 en Chile y Uruguay. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 5(1), 1-12. <http://revistareder.com/handle-0719-8477-2020-075>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

Diseño: Lupe Bezzina

INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2019 se detectó un nuevo coronavirus (SARS-CoV-2) en Wuhan, China. El 30 de enero de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró la propagación de este virus como una emergencia de salud pública de prioridad internacional y el 11 de marzo de 2020 se declaró pandemia, ratificando la alerta y la necesidad de que los países le dieran importancia a esta enfermedad (WHO, 2020). Debido a la falta de medidas de control en las primeras semanas, se generaron brotes que crecieron exponencialmente en diversos lugares. Además, la exportación y propagación del virus a nuevos lugares ocurrió rápidamente, incluso a lugares donde se consideró sería poco probable que se propagara. Esta emergencia internacional ha causado impactos negativos severos a nivel sanitario, social y económico en muchos países. La influencia de factores socioeconómicos en la salud (y enfermedad), denominados “determinantes sociales de la salud” y clasificados en tres grupos: (i) entorno social y económico; (ii) entorno físico y (iii) características individuales de las personas (Allen et al., 2020), han tenido en este caso especial relevancia en dichos impactos, que también han estado asociados con la respuesta que se ha dado a la pandemia en cada país. La velocidad del contagio y el impacto ha sido diferente y, por esta razón, la evaluación del riesgo debido a esta amenaza se ha demostrado que es una actividad fundamental que deben llevar a cabo los países. A diferencia de otras amenazas, en este caso la evaluación del riesgo debe realizarse en forma permanente y en la misma medida que se toman decisiones de reducción del riesgo de contagio que impactan económica y socialmente.

La epidemiología ha trabajado por décadas en el característico triángulo epidemiológico, compuesto por:

1. El **agente**: factor externo o patógenos que generan la enfermedad como bacterias, hongos, protozoos, gusanos, virus e incluso priones. Y sus características: patogenicidad, infectividad, virulencia, poder antigénico o inmunogenicidad, letalidad, mutación;
2. el **huésped**: que puede contraer una enfermedad ocasionada por el agente, y sus características: genética, género, inmunidad, nutrición, estado mental, hábitos personales; y
3. el **ambiente**: condiciones que favorecen o no la aparición y desarrollo de enfermedades, que pueden ser Físicas: geografía, clima, humedad y condición del agua o aire; Sociales: estatus social, educación, religión, círculos familiares, laborales y de amistad; y Biológicas: flora y fauna.

Este triángulo epidemiológico es fundamental para comprender individualmente sus componentes y características, como para entender sus relaciones e interdependencias. La supervivencia se concentra en el agente SARS-CoV-2 y el ambiente, mientras que la transmisibilidad y contagio consideran al agente (virus), al huésped y al ambiente, en lo que es la enfermedad (Covid-19).

Múltiples estudios indican que el aumento de los contagios, la supervivencia y transmisibilidad del SARS-CoV-2 pueden verse favorecidas por diversos factores como las condiciones climáticas, la densidad poblacional, la calidad de servicios médicos, las condiciones sociales, económicas y culturales, la movilidad y por las mismas decisiones políticas e individuales de las personas con el fin de mitigar el riesgo de contagio. Diversas investigaciones se han realizado en diferentes campos científicos con el fin de sugerir medidas efectivas para reducir el contagio y mitigar el impacto que ha estado ocurriendo.

Este artículo se enfoca en el análisis espacial y temporal de la transmisibilidad del virus, dadas ciertas condiciones climáticas de temperatura y humedad relativa, permitiendo estimar mes por mes, a lo largo de un año, la favorabilidad de contagio de la Covid-19 y de cuáles podrían ser las áreas y poblaciones con mayor riesgo en un territorio, teniendo en cuenta las condiciones climáticas. El estudio se realizó para Chile y Uruguay usando el Índice PREDICT de Transmisibilidad Climática de la Covid-19 (PREDICT, 2020), teniendo en cuenta las variables de temperatura y humedad relativa, definidas en el estudio publicado por el MIT el 19 de marzo de 2020 (Bukhari & Jameel, 2020), en el que se concluye, mediante correlaciones, que dichas variables favorecen el tiempo de supervivencia y transmisibilidad del virus.

Aún no se conoce con certeza el comportamiento de este nuevo coronavirus ni si es similar al de otros ya conocidos. La incertidumbre de los parámetros es grande, pero suponiendo que su tiempo de supervivencia en el aire y en superficies sea similar a otros casos estudiados (Lester, 1948; Zuk et al., 2009; Casanova et al., 2010; Ma et al., 2010; Chan et al., 2011; Shimshack, 2011; Kudo et al., 2019; entre otros), se estima que este nuevo virus podría tener una menor prevalencia y podría proporcionar una ventana de oportunidad para una mejor preparación de los sistemas de salud y para adelantar otras medidas de prevención y mitigación. Esto sin dejar de considerar que los parámetros climáticos no son los únicos que podrían influir en la supervivencia y transmisibilidad del virus y que otros factores como los biológicos, la eficiencia en la búsqueda de casos y rastreo de contactos, las estrategias de aislamiento físico, la capacidad de implementación de la política de control de la Covid-19, la tasa de urbanización y la disponibilidad de recursos médicos, el comportamiento de la comunidad, el cumplimiento de la ciudadanía de las medidas de control e higiene, también influyen en forma significativa.

Es importante recordar que los resultados de este tipo de modelaciones se obtienen de simulaciones del comportamiento climático y que no se deben tomar como resultados precisos. Estas modelaciones se basan en los pocos y recientes datos que se conocen, donde, aunque cada vez se conoce más, aún se desconoce mucho de este virus y no se sabe si se va a debilitar o si va a mantenerse su transmisibilidad y capacidad de infección. Por lo tanto, se debe entender como una fotografía en un instante T que permite respaldar decisiones de carácter sanitario y político.

Este trabajo se fundamenta en el hecho de que entender la relación entre el clima y la transmisión del virus podría ser muy útil para pronosticar la intensidad de la pandemia en diferentes periodos del año, teniendo especial relevancia en áreas al aire libre o en exteriores donde pueden encontrarse muchas personas según distintas estaciones y condiciones climáticas.

VARIACIÓN DE LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS RESPIRATORIOS ESTACIONALES Y SARS-COV-2

Dentro de los estudios que se han llevado a cabo en los últimos meses, se encuentran aquellos en donde se busca entender si existe una correlación de parámetros climáticos y su influencia potencial en la propagación de la epidemia. Algunos estudios sobre la supervivencia y transmisibilidad específicos para el SARS-CoV-2 presentan resultados de la correlación inexistente o muy baja clima-supervivencia y transmisión (Briz-Redóna & Serrano-Aroca, 2020; Jahangiri et al., 2020; Tosepu et al., 2020). Otros estudios en este campo para el caso del SARS-CoV-2 se basan en investigaciones previas realizadas para la influenza y otras enfermedades y los virus estacionales como, por ejemplo, los cuatro coronavirus endémicos (229E, HKU1, NL63, OC43)¹, en donde se ha podido demostrar que hay una consistente y fuerte variación estacional de los virus. Estos datos previos han sido generalmente considerados como útiles y similares para parametrizar modelos del SARS-CoV-2. Dado que este coronavirus no puede sobrevivir mucho en el aire, se sabe que éste se propaga a través de las partículas en suspensión en el aire como el vapor del agua u otras gotículas, que posteriormente se depositan sobre las superficies. Por esta razón, los parámetros climáticos pueden influir significativamente en el tiempo de supervivencia del virus (Neher et al., 2020; Moriyama & Ichinohe, 2019; Thai et al., 2015; Lowen & Steel, 2014; Ng & Cowling, 2014; Van Doremalen et al., 2013; Barreca & Shimshack, 2012; Chan et al., 2011; Casanova et al., 2010; Yip et al., 2007; Bi et al., 2007; Hastie & Tibshirani, 1990).

Unas variables climáticas influyen más que otras y, dada la complejidad de incluir todas las posibles variables, se toman las que podrían tener mayor correlación y favorabilidad a la supervivencia y transmisibilidad del virus. Así pues, una vez se alcanzan ciertas temperaturas y humedades relativas específicas, el virus tiene una mayor posibilidad de sobrevivir y por ende transmitirse más fácilmente. En términos de temperatura, su efecto se explica por la falta de suficiente vapor de agua en el aire para temperaturas inferiores a 3°C; y, por el contrario, para altas temperaturas, las gotas se evaporan rápidamente, y por lo tanto, las personas tendrían un menor tiempo de exposición a las gotas contaminantes. Por otro lado, la humedad tiene efectos en la capacidad de las gotas de resistir en suspensión. Si el aire es muy húmedo, las gotas son más pesadas y caen rápidamente, en humedades intermedias, las gotas resisten más tiempo en suspensión y se propagan más fácilmente; mientras que, en ambientes secos, las gotas son menos susceptibles a mantener las condiciones de supervivencia y transmisibilidad del virus (Bukhari & Jameel, 2020; Xie & Zhu, 2020; Steel et al., 2011; Shaman & Kohn, 2008).

1. Center for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/coronavirus/types.html>

Otras razones por las que las condiciones climáticas influyen en la transmisibilidad del virus son las condiciones fisiológicas humanas, pues al tener temperaturas y humedad más bajas, se tienden a secar las mucosas nasales, lo que permite una mayor propagación, así como por la deficiente inmunidad innata; como se ha demostrado en otros virus respiratorios (Casanova et al., 2010).

Todo lo anterior influye de forma sustancial en la transmisión y contagio, sin embargo, la causa directa no se ha probado y la estimación a corto plazo se debe considerar con extrema precaución. La transmisión es multifactorial, pero la temperatura y la humedad pueden dar alguna guía sobre cuándo las áreas de un país tienen mayor riesgo. Se puede básicamente predecir el comienzo de la dispersión estacional de la influenza cuando hay una caída súbita de humedad. No se sabe si esto también se puede aplicar para la Covid-19, pero se considera que puede ser bastante factible (Paez et al., 2020; Sajadi et al., 2020).

Sajadi et al. (2020), Wang et al. (2020), Qi et al. (2020), Ward et al. (2020), entre otros, han llevado a cabo estudios para determinar la influencia del clima como un factor en la propagación de la enfermedad. Para este fin, los tres primeros estudios incluyeron ciudades ubicadas en el hemisferio norte en un rango de latitudes entre los 30°N y 50°N. Ward et al. (2020), por otro lado, llevaron a cabo el análisis en New South Wales, Australia. Adicionalmente, se han tenido en cuenta criterios como, por ejemplo, los periodos de temperaturas y humedades previos a la primera muerte por la Covid-19 para capturar el rango de posible transmisión, el periodo de incubación y la tasa de reproducción; así como también se ha considerado el periodo de análisis antes de adoptar medidas de mitigación de la pandemia. Mediante cálculos estadísticos se ha determinado la relación entre los datos de clima y el número de casos de la Covid-19. Estos estudios han encontrado correlaciones estadísticas significativas cuando se compararon con los datos para ciudades donde la dispersión no ha sido sustancial. Las temperaturas fueron similares en todas las ciudades analizadas (entre 5°C y 11°C) y donde la humedad absoluta ha sido baja; así como también fue consistente con el comportamiento de los virus respiratorios estacionales. La temperatura media y humedad relativa en las ciudades analizadas, así como las condiciones de supervivencia del virus realizadas en laboratorio han mostrado una similitud en los mismos datos.

Con los resultados de Ward et al. (2020) la diferencia de clima (especialmente temperatura) entre los hemisferios norte y sur podrían explicar una falta de asociación con la temperatura, lo que podría parcialmente explicar la limitada transmisión relativa del SARS-CoV2 en Australia en febrero-marzo (265 casos por millón). En el caso de Singapur, donde se presentaron dos olas, hubo un aumento en el número de contagios en la segunda ola, donde es probable que se haya asociado con la llegada del monzón; es decir, una mayor humedad exterior que estaría influyendo en el aumento (Bhardwaj & Agrawal, 2020).

Es importante tener presente que, a pesar de las altas temperaturas en el verano, el virus ha persistido y se ha podido transmitir. Por esta razón, es importante no desconocer este hecho y mantener un seguimiento y medidas de prevención en general. Una métrica fundamental en epidemiología, que se utiliza para los modelos SIR (Susceptibles – Infectados – Removidos) es la tasa básica de reproducción (R_0), que se usa para describir el contagio o transmisibilidad de agentes infecciosos. R_0 se calcula mediante modelos que pueden ser complejos y es afectado por numerosos factores biológicos, socio-conductuales y ambientales que gobiernan la transmisión de patógenos. El índice R_0 de diferentes agentes infecciosos históricos no debe compararse, a no ser que se empleen los mismos supuestos de modelado.

Como se señala en el estudio de Wang et al. (2020), los valores de R_0 pueden disminuir significativamente por solo factores climáticos; sin embargo, hay que tener presente que con el cambio únicamente de estos factores el R_0 no alcanza a bajar de su nivel de condición crítica a un valor menor que 1.0, donde la epidemia disminuiría gradualmente. Por lo tanto, medidas de sanidad y distanciamiento social son, en cualquier caso, esenciales para evitar la transmisión del virus incluso en las condiciones climáticas más favorables.

ÍNDICE PREDICT DE TRANSMISIBILIDAD CLIMÁTICA DE COVID-19 (IPTCC)

El índice de caracterización del potencial de transmisibilidad climática de COVID-19 (IPTCC) se calcula en función de la temperatura y la humedad relativa, de los cuales se obtiene la humedad absoluta. El índice se expresa en un rango entre 0 y 100, en donde valores cercanos a 0 significa que las condiciones son más desfavorables para la supervivencia del virus; por el contrario, un valor cercano a 100 se interpreta como una mayor posibilidad de supervivencia del virus.

Para la construcción del índice, PREDICT (2020) se basó en el estudio del MIT (Bukhari & Jameel, 2020) que indica que el 90% de las infecciones virales se producen en regiones donde la temperatura se encuentra en un rango entre los 3°C y los 17°C y en un rango de humedad relativa entre 35% y el 85% (humedad absoluta entre 4 a 9 gramos por metro cuadrado de aire seco). La Figura 1 muestra la correlación de la temperatura y la humedad relativa y el rango de humedad absoluta donde existen mayores posibilidades de supervivencia y transmisibilidad del SARS-CoV-2.

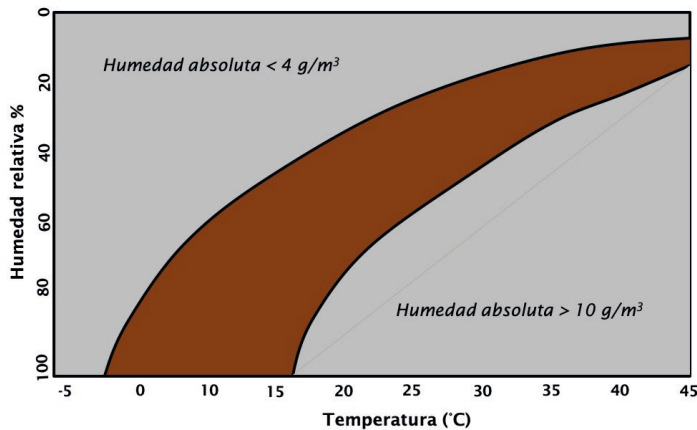


Figura 1. Correlación de temperatura y humedad relativa y rango de humedad absoluta donde existen mayores posibilidades de supervivencia y transmisibilidad del virus
Fuente: PREDICT, 2020.

El IPTCC varía entre 0 a 100 como se ilustra en la Figura 2 donde los valores centrales de la distribución son los más cercanos a 100; es decir, a una mayor probabilidad de supervivencia y transmisibilidad del virus, mientras que los valores extremos del rango de humedad absoluta donde existe cierta probabilidad de supervivencia y transmisibilidad son más bajos.

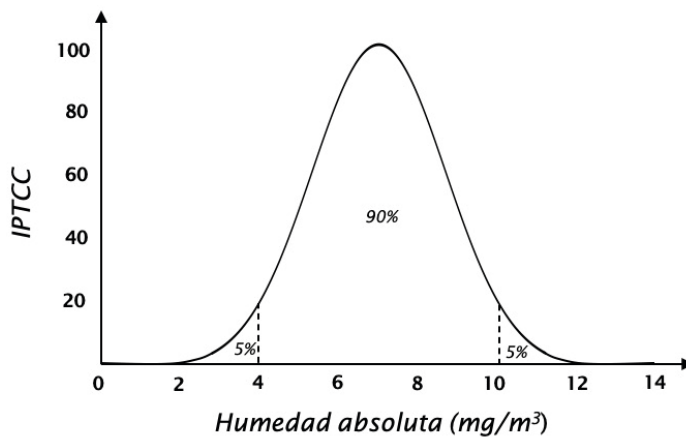


Figura 2. Función de densidad del índice de caracterización del potencial de transmisibilidad (IPTCC)
Fuente: PREDICT, 2020.

Índice PREDICT de Transmisibilidad Climática de COVID-19 (IPTCC) para Chile y Uruguay

El cálculo del IPTCC para Chile se realizó utilizando datos satelitales diarios de precipitación de la base de datos de CHIRPS (Funk et al., 2014) y de temperatura media, mínima y máxima de la base de datos de la Universidad de Princeton para 30 años (1986-2016); último año disponible en datos de temperatura con una resolución de 0.5° (Sheffield et al., 2016). Dicha información se incorporó a la plataforma CAPRA Robot (Bernal & Cardona, 2018) para generar simulaciones de temperatura y humedad relativa para 888 estaciones virtuales sobre el territorio chileno y 103 estaciones virtuales sobre el territorio uruguayo. Para el cálculo del índice, se generaron 500 simulaciones (500 años) de temperatura, humedad relativa y humedad absoluta para cada estación. Con base en estas variables se calculó el IPTCC para Chile y para Uruguay en cada estación virtual y para cada mes. La Figura 3 y la Figura 4 muestran la distribución de los resultados

del IPTCC mes por mes para todo el territorio de Chile y Uruguay en un año. El amarillo refleja un menor valor del índice mientras que el rojo, valores cercanos a 100. Como se puede observar para los meses del verano en ambos países (entre enero y abril) para Uruguay y las regiones del norte de Chile se obtienen valores del IPTCC más bajos, aunque en el este de Chile, en la cordillera, los valores aumentan. Esto se debe a la temperatura asociada con la altitud de la cordillera de los Andes. Entre mayo y octubre, por el contrario, los valores del índice aumentan más o menos desde el centro del país hacia el norte en Chile y en todo Uruguay, en donde la combinación de temperatura y humedad relativa es propicia para la propagación del virus. En el sur de Chile, en cambio, el índice disminuye, lo que se debe a las condiciones temperatura-humedad relativa que no facilitan que el virus se propague.

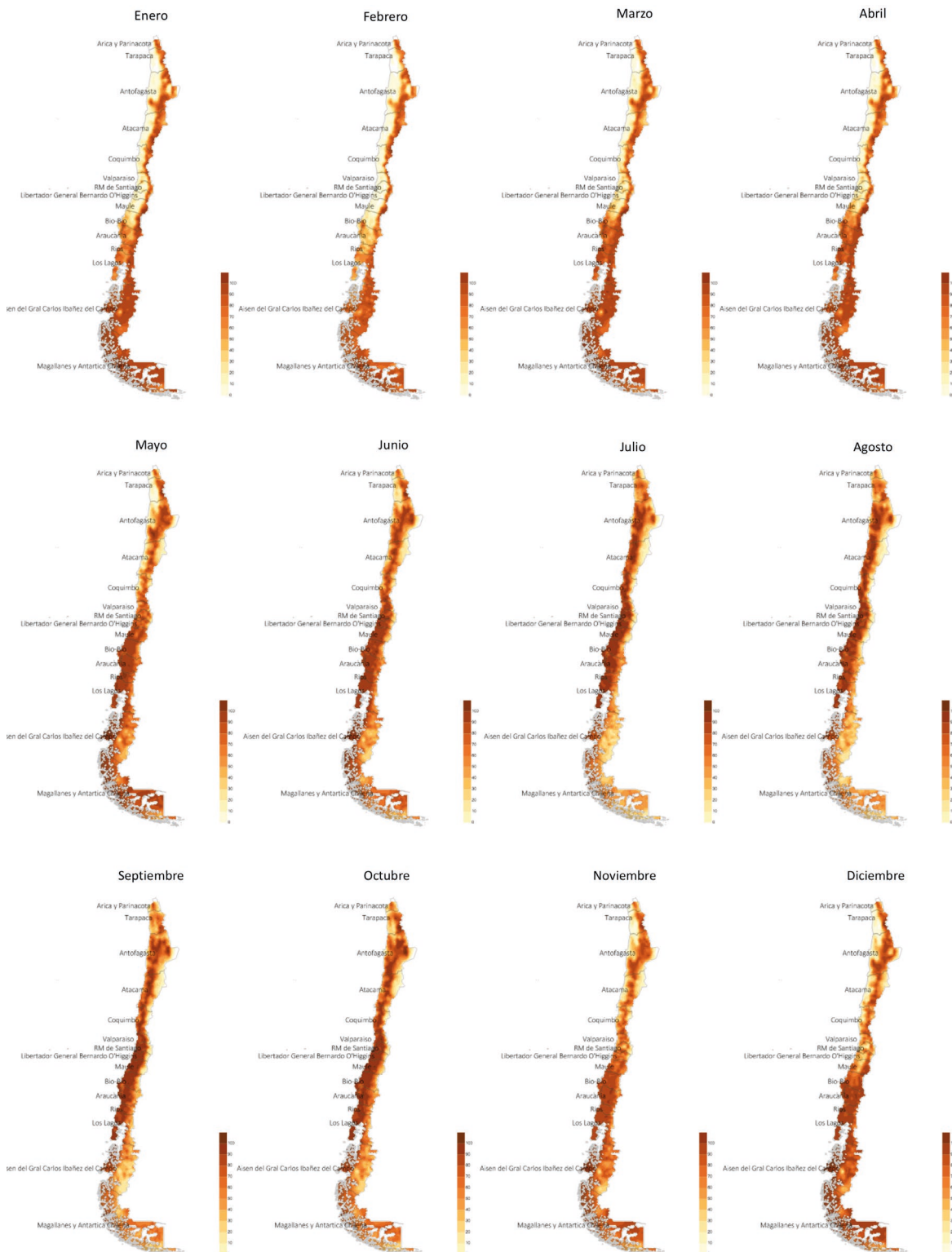


Figura 3. IPTCC por mes en el año para Chile

Fuente: Autores, 2021.

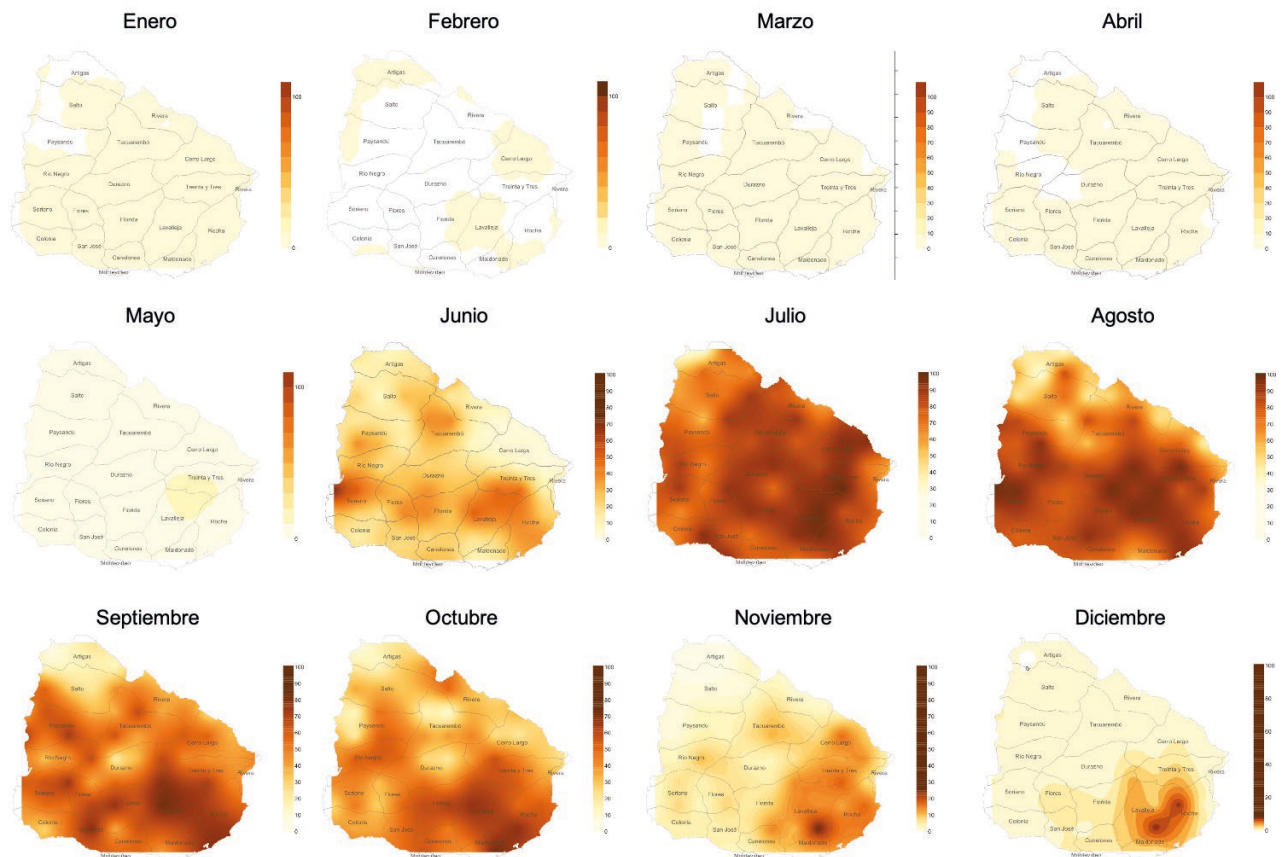


Figura 4. IPTCC por mes en el año para Uruguay
Fuente: Autores, 2021.

De los resultados de los 500 años de simulación, se obtienen funciones de densidad de probabilidad para cada una de las estaciones para cada mes, de donde se extraen curvas de probabilidad de excedencia como las que se presentan en las Figuras 5 a 7 para una estación cercana Santiago, Chile, una estación cercana a Iquique, Chile y una estación cercana a Montevideo, Uruguay, respectivamente. Este mismo tipo de resultados se puede obtener para cualquiera de las estaciones virtuales usadas en el modelo.

Esos resultados permiten conocer la probabilidad de excedencia de un valor de IPTCC para el mes deseado. Como se puede observar en la Figura 5, para los primeros meses del año (enero a abril) los valores de IPTCC son muy bajos, pero a partir de mayo estos valores suben sustancialmente. Por ejemplo, en el mes de mayo la probabilidad de exceder un valor de IPTCC de 50 es del 0.2, para junio es cerca de 1.0, para julio y agosto la probabilidad de exceder valores de 90 es cerca de 1.0 y a partir de octubre comienza a disminuir nuevamente. Cuando se comparan diferentes meses del año para la misma estación, se puede observar cómo el índice cambia debido a la variación de los parámetros climáticos. Si se comparan los resultados de Santiago e Iquique (en el norte de Chile) se puede observar la diferencia en los valores de IPTCC para los diferentes meses. Mientras en Santiago, en los meses de invierno (julio a septiembre) la probabilidad de exceder un valor de 90 de IPTCC es cerca de 1.0, en Iquique, por el contrario, el índice no alcanza dichos valores en todo el año. Durante los meses de invierno (entre julio y septiembre) la probabilidad de exceder un valor de 40 del IPTCC es 0.5, 0.6 y cerca de 0.4 respectivamente. En el caso de Uruguay, como se puede ver en la Figura 7, al igual que en Santiago, en los meses de invierno, especialmente julio y agosto, la probabilidad de exceder un valor alto (70) de IPTCC es cerca de 1.0.

INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL RIESGO DE PROPAGACIÓN DE LA COVID-19 EN CHILE Y URUGUAY

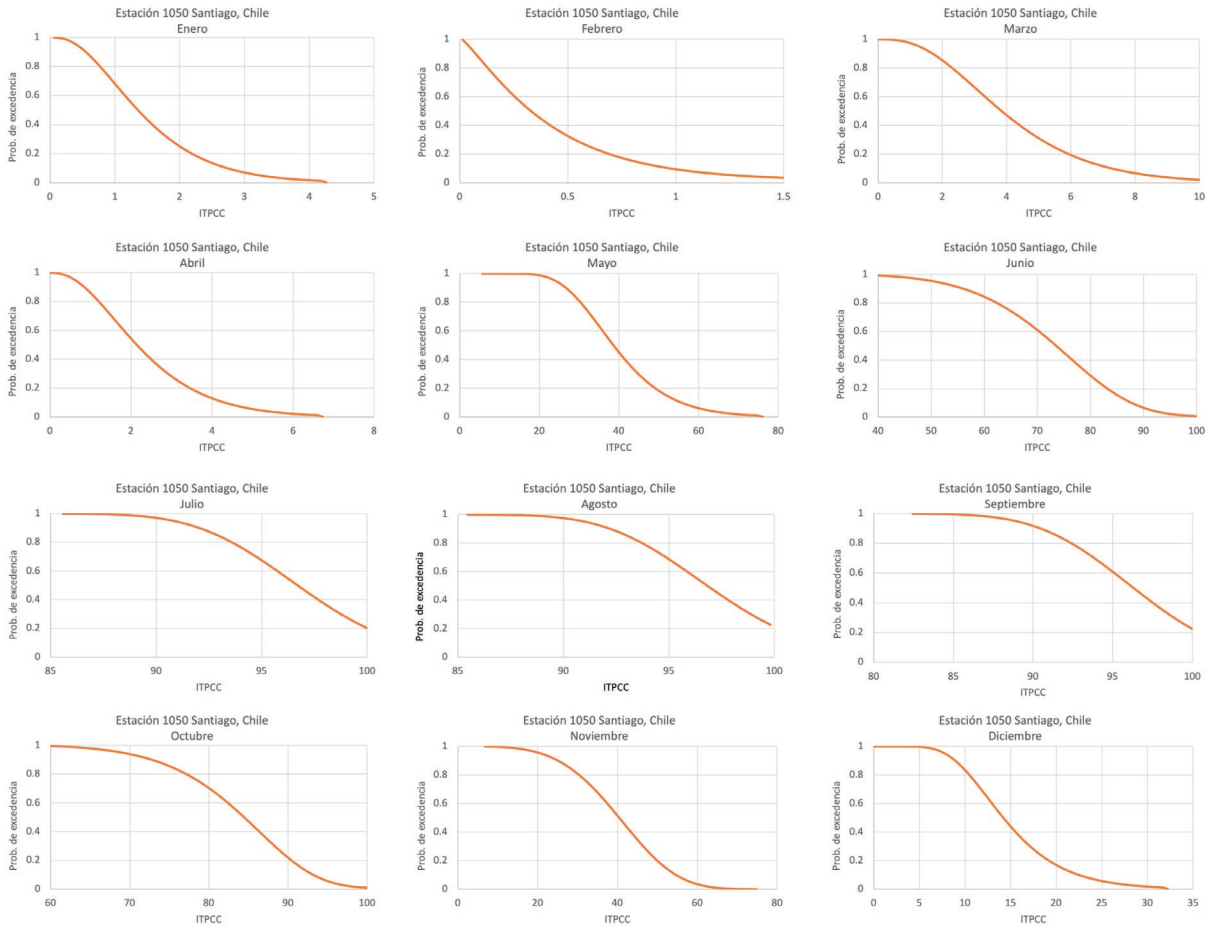


Figura 5. Probabilidad de excedencia del IPTCC para los 12 meses del año para una estación en Santiago, Chile Fuente: Autores, 2021.

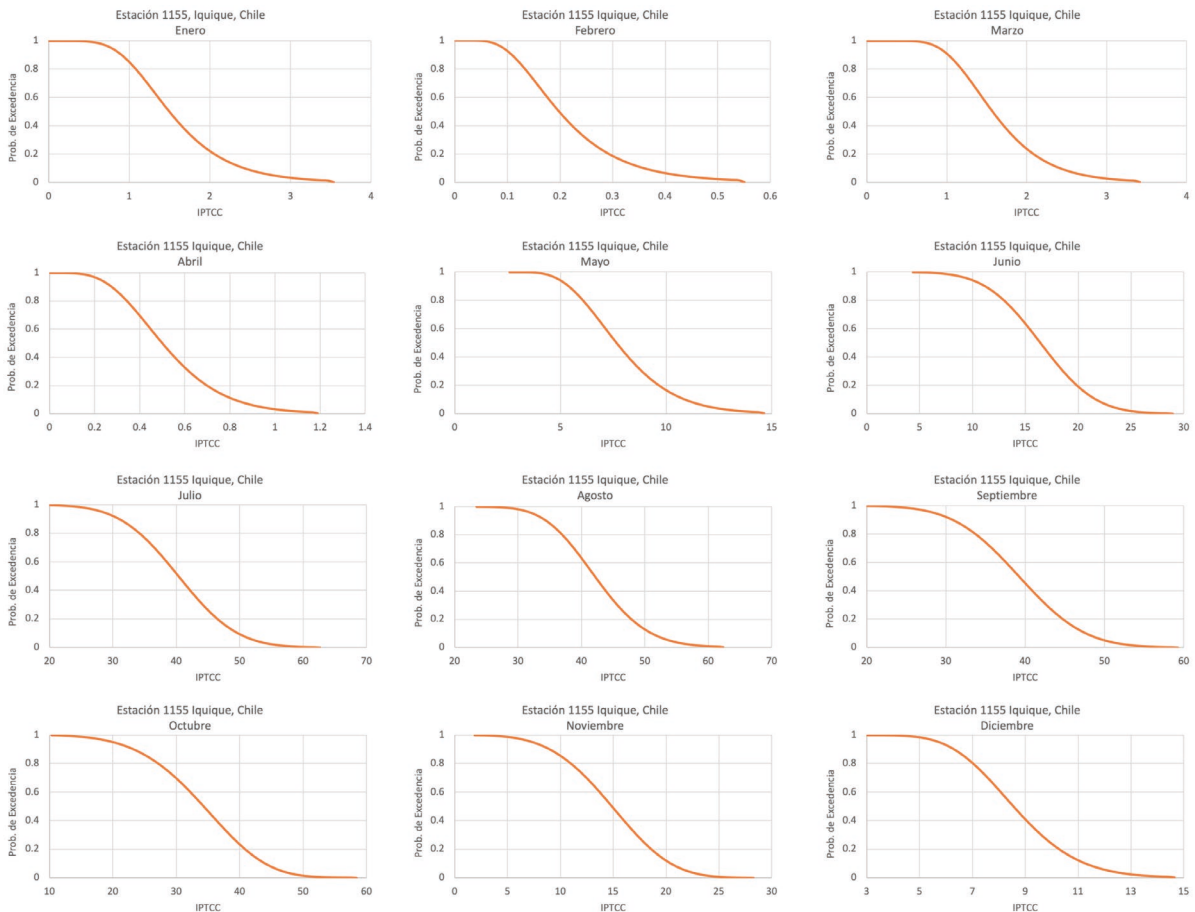


Figura 6. Probabilidad de excedencia del IPTCC para los 12 meses del año para una estación en Iquique, Chile Fuente: Autores, 2021.

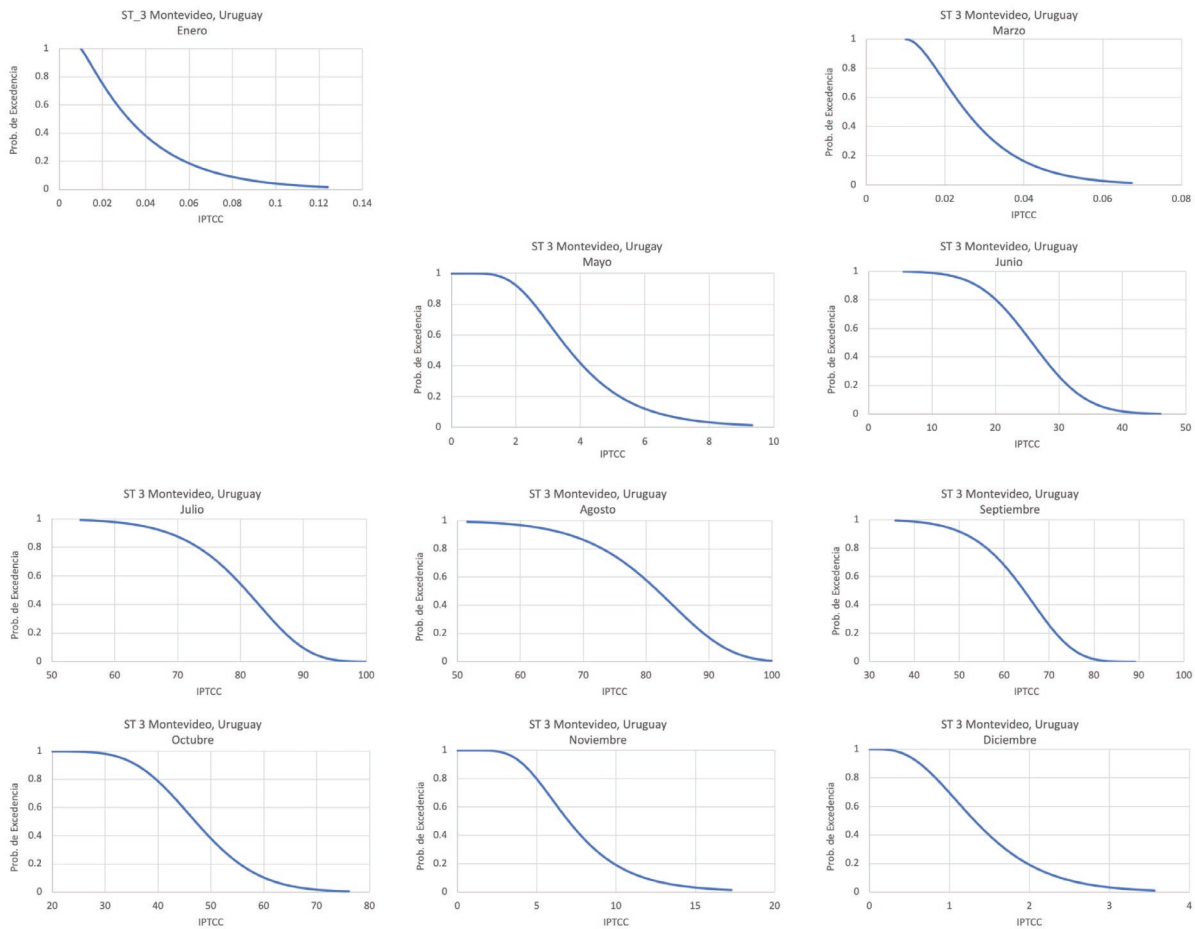


Figura 7. Probabilidad de excedencia del IPTCC para meses del año para una estación en Montevideo, Uruguay
Fuente: Autores, 2021.

Estos resultados han sido obtenidos con herramientas de evaluación de amenaza y riesgo por precipitaciones, sequía e inundaciones, que utilizan un generador estocástico de clima que permite obtener series climáticas de diferentes variables en cada sitio del territorio de un país, utilizando bases de datos internacionales. Herramientas que no fueron desarrolladas para la Covid-19 sino para evaluar amenazas y riesgo climático con fines de gestión del riesgo de desastres.

CONCLUSIONES

En este análisis se ha considerado la influencia potencial de parámetros climáticos (temperatura, humedad relativa y humedad absoluta) en la supervivencia y transmisibilidad del virus SARS-CoV-2. No se han tenido en cuenta otras variables que también pueden influir de manera importante en la transmisibilidad del virus y que le agregan complejidad al análisis. No se han considerado tampoco datos como los rayos UV, la tasa de partículas finas en suspensión en el aire y otros factores de propagación del virus, como la estabilidad del aire y las turbulencias. Sin embargo, se considera que tener en cuenta las variables climáticas utilizadas puede orientar y contribuir a la aplicación de medidas de contención, mitigación y control de la propagación de la Covid-19, las cuales se pueden combinar con otras medidas asociadas a otros factores no climáticos, de tipo antrópico, como la movilidad de las personas, las medidas de aislamiento y otras adoptadas por cada gobierno, con el fin de intensificar o relajar la pedagogía y las medidas dependiendo la época del año, a altura sobre el nivel del mar y la latitud.

Es importante señalar que son múltiples los factores que pueden influir en el aumento o disminución de la pandemia, pero se ha podido determinar que las variables climáticas en diferentes centros urbanos juegan un papel importante en el modo de vida de la población (vida interior vs. vida exterior), lo que también tiene que ver con la densidad poblacional, las condiciones de higiene, el acceso a la salud, la calidad y los recursos de los servicios de sanidad, el uso y las costumbres en términos de distanciamiento social, movilidad, entre otros. Esto permite afirmar que la relevancia de las variables climáticas es alta cuando se trata de identificar la tasa de contagio de la Covid-19.

Ahora bien, los resultados de este análisis clima-transmisibilidad-virus pueden variar significativamente debido a los factores antes mencionados. Por lo tanto, aunque la temperatura y la humedad sean propicias para una mayor transmisibilidad, es importante señalar que, si las condiciones de confinamiento son estrictas y por lo tanto si la movilidad disminuye en una proporción importante, es muy poco probable que las condiciones climáticas tengan la misma influencia en la transmisión del virus debido a la baja posibilidad de que las personas entren en contacto. Asimismo, una mayor capacidad sanitaria, donde los infectados estarían aislados y tratados en hospitales, reduciría el potencial de transmisión. También cabe anotar que, aunque las condiciones climáticas en algunos momentos en el año no sean muy propicias para la supervivencia y transmisibilidad del virus, como se ha demostrado en el estudio de Ward et al. (2020), el virus puede persistir y se puede transmitir, por lo que es necesario mantener un cuidadoso seguimiento y medidas de prevención en general (Wang et al., 2020).

Este trabajo hace énfasis en que, si se entiende la influencia de ciertos parámetros climáticos en la transmisibilidad del virus y en su tiempo de supervivencia, es posible estimar la probabilidad de alcanzar ciertos umbrales a partir de los cuales se pueden intensificar o flexibilizar ciertas medidas de reducción del contagio, en ciertos lugares y en ciertas épocas del año. Esto permitiría implementar las medidas tratando de que sean lo más efectivas posibles y que al mismo tiempo no se contribuya innecesariamente a llevar a cabo restricciones (e.g. confinamiento) que, aunque pueden ser efectivas, también pueden llegar a ser muy drásticas y tener un fuerte impacto económico para la sociedad.

Al momento de realizar este artículo no se conocen bien los patrones ni la trayectoria que va a tomar la dispersión del nuevo coronavirus. Podría prevalecer en bajos niveles o causar picos estacionales severos. Por esta razón, es importante visualizar medidas de mitigación para reducir al máximo el posible número de contagios. Un modelo climático como el aquí utilizado podría combinarse con otros modelos epidemiológicos considerando diferentes interacciones humanas (e.g. viajes, densidad poblacional, capacidad de la salud, características demográficas de la población, factores virales). Un modelo que integre otras variables permitiría hacer estimaciones a corto plazo para definir cuáles podrían ser las áreas y los centros urbanos que estarían en mayor riesgo y por cuanto tiempo, facilitando que se pueda optimizar el seguimiento y las medidas de control de la dispersión del virus en los próximos años.

Por último, cabe mencionar que, a pesar de las incertidumbres asociadas a este tipo de modelos, la cantidad de supuestos que se deben utilizar, la escasez de datos, la falta de información de este nuevo coronavirus y la simplificación inherente de la modelación, al tener que seleccionar las variables que se consideran más relevantes para cada estudio, los resultados que se pueden obtener de las simulaciones son valiosos y son la piedra angular de la gestión del riesgo. Estos resultados pueden ayudar al entendimiento del comportamiento del virus y dar un mejor panorama de la situación para poder contar con distintos escenarios y proyecciones y de esta manera tomar decisiones informadas para mitigar su impacto sustancialmente. Es importante tener claro que los modelos no pretenden predecir el futuro, sino dar cuenta de un rango de posibilidades dada la evidencia que se tiene. Evaluar el riesgo es fundamental para la gestión del riesgo y, al igual que con otras amenazas, es necesario utilizar el conocimiento de la mejor forma, evitando que las decisiones se tomen tan solo con base en la percepción y la intuición. *“Lo perfecto es enemigo de lo bueno”*, los modelos no son precisos y como los señala Mark H. Weir “Los modelos siempre son incorrectos, pero algunos modelos son útiles”. Los que son útiles son aquellos en los cuales se ponen todas las piezas –datos, conocimientos, percepciones, problemas y soluciones– en un solo lugar y en un lenguaje común, con el fin de buscar las mejores decisiones que beneficien a la sociedad.

REFERENCIAS

- Allen, A., Sarmiento, J.P. & Sandoval, V. (2020). Los estudios latinoamericanos de reducción del riesgo de desastres en el contexto de la pandemia del COVID-19. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 4(2), 1-6. <http://revistareder.com/handle-0719-8477-2020-066>
- Barreca, A.I. & Shimshack, J.P. (2012). Absolute humidity, temperature, and influenza mortality: 30 years of county-level evidence from the United States. *American Journal of Epidemiology*, 176(7), 114-122. <http://doi.org/10.1093/aje/kws259>

- Bernal, G. A. & Cardona, O.D. (2018). Next Generation CAPRA Software. *16th European Conference on Earthquake Engineering*. Thessaloniki, Grecia.
- Bi, P., Wang J. & Hiller, J. (2007). Weather: driving force behind the transmission of severe acute respiratory syndrome in China? *Internal Medicine Journal*, 37, 550-554. <https://doi.org/10.1111/j.1445-5994.2007.01358.x>
- Bhardwaj, R. & Agrawal, A. (2020). Likelihood of survival of coronavirus in a respiratory droplet deposited on a solid surface. *Physics of Fluids*, 32, 061704. <https://doi.org/10.1063/5.0012009>
- Briz-Redóna, A. & Serrano-Arocab, A. (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>
- Bukhari, Q. & Jameel, Y. (2020, 17 de Mar.). Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer?. SSRN Elsevier. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3556998>
- Casanova, L.M., Jeon, S., Rutala, W.A., Weber, D.J. & Sobsey, M.D. (2010). Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(9), 2712-2717. <https://doi.org/10.1128/AEM.02291-09>
- Chan, K.H., Malik Peiris, J.S., 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>
- Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., et al., (2014). A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. *U.S. Geological Survey Data Series*, 832, 4. <https://dx.doi.org/10.3133/ds832>
- Hastie, T.J. & Tibshirani, R.J. (1990). *Generalized Additive Models*. Chapman, Hall, New York.
- HCSP. (2020). *Avis relatif à la gestion de l'épidémie de Covid-19 en cas d'exposition de la population à des vagues de chaleur*. Haut Conseil de la santé publique, HCSP.
- Jahangiri, M., Jahangiri, M. & Najafgholipour, M. (2020). The sensitivity and specificity analyses of ambient temperature and population size on the transmission rate of the novel coronavirus (COVID-19) in different provinces of Iran. *Science of The Total Environment*, 728, 138872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138872>
- Kudo, E., Songo, E., Yockey, L.J., Rakib, T., Wond, P.W., Homer, R.J. & Iwasaki, A. (2019). Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *Yale University School of Medicine*, 116(22). <https://doi.org/10.1073/pnas.1902840116>
- Lester, W. (1948). *The influence of relative humidity on the infectivity of air-borne influenza a virus (PR8 Strain)*. University of Chicago.
- Lowen, A.C. & Steel J. (2014). Roles of humidity and temperature in shaping influenza seasonality. *Journal of virology*, 88(14), 7692-7695. <https://doi.org/10.1128/jvi.03544-13>
- Ma, E., Lam, T., Wong, C. & Chuang S.K. (2010). Is hand, foot and mouth disease associated with meteorological parameters?. *Epidemiology and Infection*, 138(12), 1779-1788. <https://doi.org/10.1017/S0950268810002256>
- Moriyama, M. & Ichinohe, T. (2019). High ambient temperature dampens adaptive immune responses to influenza A virus infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(8), 3118-3125. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815029116>
- Neher, A., Dyrdak R., Druelle V., Hodcroft E.B. & Albert, J. (2020). Potential impact of seasonal forcing on a SARS-CoV-2 pandemic. *Swiss Med Wkly*. 2020(150). w20224. <https://doi.org/10.4414/sm.w.2020.20224>
- Ng, S. & Cowling, B.J. (2014). Association between temperature, humidity and ebolavirus disease outbreaks in Africa, 1976 to 2014. *Eurosurveillance*, 19(35), 20892. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.es2014.19.35.20892>
- Paez, A; Lopez, F.A., Menezes, T., Cavalcanti, R., Galdino, R. & Pitta, M. (2020). A Spatio-Temporal Analysis of the Environmental Correlates of COVID-19 Incidence in Spain. *Geographical Analysis*. <https://doi.org/10.1111/gean.12241>
- PREDICT – Risques sous haute surveillance. (2020). *Etude de l'influence potentielle de l'humidité et de la température dans la propagation du Covid-19*. PREDICT.
- Qi, H., Xiao, S., Shi, R., Ward, M.P., Chen, Y., Tu, W., Su, Q., Wang, W., Wang, X. & Zhang, Z. (2020). COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis. *Science of The Total Environment*, 728, 138778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138778>

- Sajadi M.M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F. & Amoroso A. (2020). Temperature, Humidity, and Latitude Analysis to Estimate Potential Spread and Seasonality of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA Netw Open*, 3(6), e2011834. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.11834>
- Shaman, J. & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3243-3248. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106>
- Sheffield, J., Goteti, G. and E.F. & Wood, E.F. (2016). Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. *Journal of Climate*, 19(13), 3088-3111.
- Steel, J., Palese, P. & 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. *Journal of Virology*, 85(3), 1400-1402. <https://doi.org/10.1128/JVI.02186-10>
- Thai, P.Q., Choisy, M., Duong, T.N., Thiem, V.D., Yen, N.T., Hien, N.T. et al. (2015). Seasonality of absolute humidity explains seasonality of influenza-like illness in Vietnam. *Epidemics*, 13, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2015.06.002>
- Tosepu, R., Gunawan, J., Effendy, D.S., Ahmad, L., Lestari, H., Bahar, H., et al. (2020). Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 725, 138436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138436>
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T. & Munster, V. (2013). Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Eurosurveillance*, 18(38), 20590. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>
- Wang, J., Tang, K., Feng, K., Lin, X., Lv, W., Chen, K. & Wang, F. (2020, 9 de Mar.). High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. SSRN Elsevier. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3551767>
- Ward M.P., Xiao, S. & Zhang Z. (2020). The role of climate during the COVID-19 epidemic in New South Wales, Australia. *Transboundary and Emerging Diseases*. 1-5. <https://doi.org/10.1111/tbed.13631>
- WHO. (2020). Novel Coronavirus (2019-nCoV) *Situation Report – 50*. WHO Emergency Committee. Disponible en https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200310-sitrep-50-covid-19.pdf?sfvrsn=55e904fb_2
- Yip C., Chang, W.L., Yeung, K.H. & Yu, I.T. (2007). Possible meteorological influence on the severe acute respiratory syndrome (SARS) community outbreak at Amoy Gardens, Hong Kong. *Journal of environmental health*, 70(3), 39-46
- Zuk, T., Rakowski, F. & Radomski, J.P. (2009). Probabilistic model of influenza virus transmissibility at various temperature and humidity conditions. Brief communication. *Computational Biology and Chemistry*, 22, 339-243. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2009.07.005>