

Análisis del comportamiento de variables ambientales y sociales como factores de riesgo en la propagación del nuevo coronavirus (SARS-CoV-2): caso de estudio en el Perú

Analysis of the behavior of environmental and social variables as risk factors in the spread of the novel coronavirus (SARS-CoV-2): case study in Peru

Edwin Badillo-Rivera,* Anthony Jeanpier Fow Esteves,** Fernando Edison Alata-López,***
Paul HermesVirú-Vásquez**** y Sofía Martha Medina Acuña[†]

Recibido: 01/08/2020. Aprobado: 16/01/2021. Publicado: 28/02/2021.

Resumen. La nueva enfermedad del coronavirus (COVID-19) generada por el virus SARS-CoV-2 se originó en China y el primer caso reportado fue en la ciudad de Wuhan, en diciembre del 2019. El virus comenzó a propagarse en otras regiones de China y al resto del mundo. El 30 de enero del 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró el brote del COVID-19 como emergencia internacional en salud pública. En Perú, el primer caso positivo de COVID-19 fue registrado el 6 de marzo del 2020 en la región Lima, y se declaró el estado de emergencia el 16 de marzo del 2020. A nivel mundial se han realizado diferentes investigaciones de variables ambientales asociadas a la propagación del COVID-19 así como variables sociales; sin embargo, la mayoría de estas han sido analizadas de forma individual, por lo que es necesario realizar un análisis que integre a dichas variables bajo ciertos criterios metodo-

lógicos. Es así que el objetivo de este texto es analizar las variables ambientales (columna troposférica de NO₂, flujo vertical de aire, porcentaje de residuos sólidos dispuestos en botaderos y porcentaje de la población sin ningún mecanismo de eliminación de excreta) y sociales (niveles de pobreza monetaria, porcentaje del número de hospitales por población y población vulnerable) que intervienen directa e indirectamente a la propagación del virus SARS-CoV-2. Para ello se utilizaron técnicas de percepción remota, sistemas de información geográfica (SIG) integrados bajo el enfoque estadístico-determinístico multiparamétrico planteado por Saaty, determinando así qué regiones del Perú presentan mayor susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo de propagación del virus SARS-CoV-2. Los datos fueron recopilados a partir de instituciones mundiales y nacionales; para la columna troposférica de NO₂ los datos fueron obtenidos del satélite

* Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao, Av. Juan Pablo II 306, Bellavista-Callao. <https://orcid.org/0000-0003-2127-3895>. Email: enbadillor@unac.edu.pe. Autor de correspondencia.

** Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao. <https://orcid.org/0000-0002-9507-0225>

*** Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao. <https://orcid.org/0000-0002-3123-4323>

**** Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao. <https://orcid.org/0000-0002-5334-3192>

[†] Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210, Rímac. <https://orcid.org/0000-0001-8948-0562>

Sentinel-5P; el flujo vertical del aire se determinó a partir de la información recolectada del laboratorio de ciencias físicas del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration); la información concerniente a la población sin ningún mecanismo de excreta fue extraída del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y el porcentaje de residuos sólidos dispuestos en botaderos se obtuvo del Ministerio del Ambiente (MINAM), mientras que los datos de las variables sociales fueron todos obtenidos a partir del INEI. Los resultados muestran que la prevalencia de altos valores de NO₂ troposférico y valores cercanos a 0 Pa/s del flujo de aire vertical presentaron una relación directa con el número de casos positivos por COVID-19, además, se encontró que el 68% de las regiones se encuentran en un nivel de riesgo de propagación del virus SARS-CoV-2 “alto” y “muy alto”, y la mayoría de estas se encuentran en el norte y centro del Perú (Callao, Tumbes, Piura, Loreto, Lambayeque, Huancavelica, Amazonas, Cajamarca, Ucayali y Huánuco, entre otras), por lo que se debería tener especial cuidado con las medidas tomadas posaislamiento social a fin de evitar un rebrote y colapso de los sistemas de salud. En la presente investigación se concluye que las políticas públicas de gestión de la calidad de aire, gestión integral de residuos sólidos y servicios de saneamiento, deben mejorar a corto plazo a fin de disminuir el riesgo de propagación del virus SARS-CoV-2. Este estudio puede replicarse a una mayor escala, incluyendo más variables.

Palabras clave: SARS-CoV-2, procesamiento de análisis jerárquico (PAJ), evaluación del riesgo, teledetección, SIG.

INTRODUCCIÓN

La nueva enfermedad del coronavirus (COVID-19), provocada por el virus SARS-CoV-2, está siendo investigada por distintas disciplinas, entre ellas, las de carácter ambiental, específicamente en la relación que podría existir entre el SARS-CoV-2 y variables ambientales (VA) tales como aire, agua y residuos sólidos. Cabe mencionar que estos estudios aún son escasos, pero se advierten algunas consecuencias al no considerarlos en las políticas públicas adoptadas por el gobierno.

Estudios recientes han evidenciado que las concentraciones medidas en el suelo y a partir de teledetección muestran una reducción significativa en cuanto a contaminantes atmosféricos en los días de cuarentena (Chen, Wang, Huang, Kinney y Anastas, 2020). Además, Ogen (2020) realizó un análisis usando teledetección y datos de tasa de letalidad del COVID-19 en Alemania, Francia, España e Italia, y concluye que una larga exposi-

Abstract. The research carried out an analysis of environmental factors (Tropospheric column of NO₂, vertical air flow, percentage of solid waste disposed of in open dumps and percentage of the population without any mechanism of excreta disposal) and social factors (monetary poverty levels, percentage of the number of hospitals per population and vulnerable population) that could be directly and indirectly related to the spread of the SARS-CoV-2 virus in the regions of Peru. Remote sensing techniques, geographic information systems and a hierarchical analysis process were used to determine which regions are most susceptible, vulnerable and at risk of spreading the SARS-CoV-2 virus. The results show that the prevalence of high values of tropospheric NO₂ and values close to 0 Pa/s of the vertical airflow had a direct relationship with the number of positive cases by COVID-19. In addition, it was found that 68% of the regions are at a “high” and “very high” level of risk of propagation of the SARS-CoV-2 virus, and most of these are in northern and central Peru (Callao, Tumbes, Piura, Loreto, Lambayeque, Huancavelica, Amazonas, Cajamarca, Ucayali and Huánuco, among others), so special care should be taken with the measures taken after social isolation in order to avoid a resurgence and collapse of the health systems. It was concluded that public policies on air quality management, integrated solid waste management and sanitation services must be improved in order to reduce the risk of spreading the SARS-CoV-2 virus.

Keywords: SARS-CoV-2, Analysis Hierarchical Processing (AHP), Risk Assessment, Remote Sensing, GIS

ción al NO₂ puede ser uno de los contribuyentes a la mortalidad causada por el COVID-19 en las regiones estudiadas. En el Perú, MINAM (2020a) reportó que durante el aislamiento social hubo una reducción de valores menores a 10 µg/m³ de PM_{2.5}, siendo estos los promedios más bajos de los últimos 3 años, por lo que, en condiciones normales de actividad industrial, podría existir una alta relación entre la cantidad de casos positivos al COVID-19 y los altos niveles de contaminación.

Existe evidencia que el SARS-CoV-2 habita en el excremento de las personas infectadas, y podría representar un riesgo para la salud humana (Guan *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020). En América Latina, solo se trata el 20% del total de las aguas residuales (Banco Mundial, 2015), en el Perú, según el INEI (2016), en las áreas urbanas la cobertura de los servicios de saneamiento por red pública de alcantarillado asciende al 88%, mientras que en las rurales este valor no supera el 18%, siendo los pozos sépticos, ríos,

acequias o canal el único escenario para eliminar las excretas.

Nzediegwu y Chang (2020) así como Van Doremalen *et al.* (2020) indican que una inadecuada gestión de residuos sólidos podría generar la proliferación del SARS-CoV-2 a todos los trabajadores de residuos sólidos. En países de América Latina existe una alta predominancia de botaderos (Ziegler-Rodríguez *et al.*, 2019) the main goal of the study is to analyze the life-cycle environmental performance of waste disposition in three different landfills located in three distinct geographical areas of Peru: i. Scheinberg *et al.* (2020) considera importante prevenir la propagación del COVID-19 en las situaciones antes descritas, por esta razón, países como EE. UU. e Italia han restringido programas de reciclaje y segregación (Zambrano-Monserrate, Alejandra Ruano y Sanchez-Alcalde, 2020); en el Perú, el D.S. N° 080-2020-PCM prioriza cómo una de las principales actividades económicas por reanudar al reciclaje de residuos sólidos inorgánicos industriales (MINAM, 2020b); además, según Orihuela Paredes (2018) aproximadamente el 73% de los residuos sólidos terminan en los botaderos.

Por otro lado, pocas investigaciones han considerado aspectos sociales potencialmente asociados con la propagación del COVID-19, como la densidad de la población, población metropolitana, congestión vehicular (Ahmadi *et al.*, 2020; Hamidi *et al.*, 2020), la vulnerabilidad y pobreza de la población (Tavares & Betti, 2021), por lo que estos aspectos podrían utilizarse para proyectar futuras situaciones con respecto a esta enfermedad. Además, según CDC-MINSA (2020) en su presentación sobre el análisis epidemiológico de la situación del COVID-19 en el Perú, nos muestra que ciertos grupos de edad (entre ellos los adultos mayores, considerados como población vulnerable), congestión de hospitales y falta de lugares para el tratamiento o evaluación del COVID-19 resultan aspectos cruciales en el combate de esta enfermedad. Es por ello que estas variables en conjunto resultan importantes para tomar futuras decisiones con respecto a las medidas para enfrentar esta pandemia.

Ante la problemática presentada se evaluaron las variables ambientales y sociales mediante tele-

detección y sistemas de información geográfica, haciendo uso de datos obtenidos a partir del satélite Sentinel-5P, productos de la plataforma web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y el software QGIS; además, se utilizó el proceso de análisis jerárquico (PAJ), un método multicriterio para tomar decisiones en diferentes disciplinas, como la salud (Requia *et al.*, 2020), ciencias naturales (Lin *et al.*, 2020) e ingeniería (Zhou y Yang, 2020).

El PAJ comienza con la definición del problema a resolver y lo descompone en una jerarquía de decisiones (Vassou, Labib y Roberts, 2006), luego utiliza una comparación pareada entre los criterios con respecto al objetivo, de igual modo entre las alternativas con respecto a cada criterio, con miras de establecer prioridades entre los elementos de la jerarquía. Finalmente, se estiman los pesos relativos de los elementos de cada nivel del modelo jerárquico y se calcula el valor de las prioridades globales de las alternativas e inconsistencia (coherencias) (Labib, 2014).

El estudio integra el análisis jerárquico de Saaty y la perspectiva de la triada epidemiológica (agente, huésped y ambiente) (Méndez-Martínez *et al.*, 2018), ya que resultan esenciales para agrupar variables, en este caso ambientales y sociales, determinando así aquellas regiones que son susceptibles al riesgo de propagación del SARS-CoV-2, ya que en el Perú existen regiones que requieren soporte y apoyo urgente para la atención de casos y control en COVID-19 (CDC-MINSA, 2020), es decir, que la situación y/o la realidad en cada región del Perú es distinta y debe evaluarse como tal.

Cabe mencionar que el concepto de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo están basados en lo definido por el Centro Nacional en Prevención de Riesgos de Desastres (CENEPRED), ente rector del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú. Por lo que, para el análisis de la susceptibilidad, consideraremos a todo aquello que esté referido a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado ámbito geográfico; para el análisis de vulnerabilidad consideraremos la exposición, fragilidad y resiliencia de la población y sus medios de vida; finalmente, el análisis de riesgos nos permitirá identificar y caracterizar los peligros, analizar las

vulnerabilidades (CENEPRED, 2015), con el fin de alcanzar el objetivo de la investigación.

OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis individual de los variables ambientales y sociales que afectan directa e indirectamente a la propagación del SARS-CoV-2 usando técnicas de teledetección, sistemas de información geográfica y analizarlas bajo el enfoque estadístico-determinístico multiparamétrico planteado por Saaty (1980). Es importante recalcar que el ámbito de estudio es el Perú y el análisis se realizó en las 25 regiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables ambientales

Columna troposférica de NO₂ (CTNO₂)

Los datos de CTNO₂ fueron obtenidos del satélite Sentinel-5P, instrumento de monitoreo troposférico-TROPOMI (Eskes *et al.*, 2019), el tiempo de exposición típica al NO₂ a largo plazo se definió como un periodo de 3.5 meses, es decir, del 1° de enero al 14 de marzo del 2020, un día antes del periodo de aislamiento social en Perú (Diario Oficial El Peruano, 2020); además, para fines de mostrar la reducción del NO₂ se analizó el periodo del 16 de marzo al 20 de abril. Para cada periodo se realizó el promedio de NO₂ usando la plataforma de Google Earth Engine. Estos raster fueron exportados y trabajados en un entorno de sistema de información geográfica (QGIS), en donde se calculó el promedio de pixeles para cada región del Perú.

Flujo vertical de aire - omega (FVA)

El FVA es un parámetro analizado en la tropósfera, los datos usados de omega fueron productos derivados de Reanálisis 1 NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research) descargados de la plataforma web del Laboratorio de Ciencias Físicas de la National Oceanic and Atmospheric

Administration/Earth System Research Laboratories (NOAA/ESRL) (<https://psl.noaa.gov/>, última visita el 30 de abril de 2020); los datos analizados corresponden al promedio de omega mensual del año 2019 y a una altura de 850 hPa (-1500 m de altitud). La hipótesis asumida es que las regiones donde prevalezcan valores negativos de omega se verán favorecidas con una mejor circulación y dispersión de los contaminantes lo que evitará que permanezcan en la superficie, llevándolas a una mayor altitud; por el contrario, en las regiones con omega positivo o cercano a 0 (estabilidad atmosférica) se presentará una mayor permanencia de los contaminantes atmosféricos.

Porcentaje de población sin ningún mecanismo de eliminación de excretas (MEE)

La información representó el número de personas por región que no cuentan con servicios de saneamiento por red pública de alcantarillado. La información concerniente a MEE fue extraída de INEI (2016).

Porcentaje de disposición final de residuos sólidos en botaderos (RSB)

La variable en análisis reflejó el porcentaje de los residuos que la población genera y dispone en ambientes sin medidas sanitarias establecidas (botaderos), el porcentaje de residuos sólidos dispuestos en botaderos de cada región del Perú se extrajo de Orihuela Paredes (2018).

Variables sociales

Población vulnerable (VP)

La población vulnerable fue extraída del capítulo 1 del *Perfil Sociodemográfico del Perú, 2017*, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Esta población representa al 38.29% de la población total e incluye a los niños y niñas menores de 14 años y adultos mayores a 60 años, además, son considerados como tal debido a que se encuentran en rangos de edad potencialmente inactivas, es decir, que deberían ser sostenidos por personas en edades activas (INEI, 2017). Por otro lado, según CDC-MINSA (2020), la edad mayor a 60 años es una de las condiciones que determinan un mayor riesgo de morir por COVID-19.

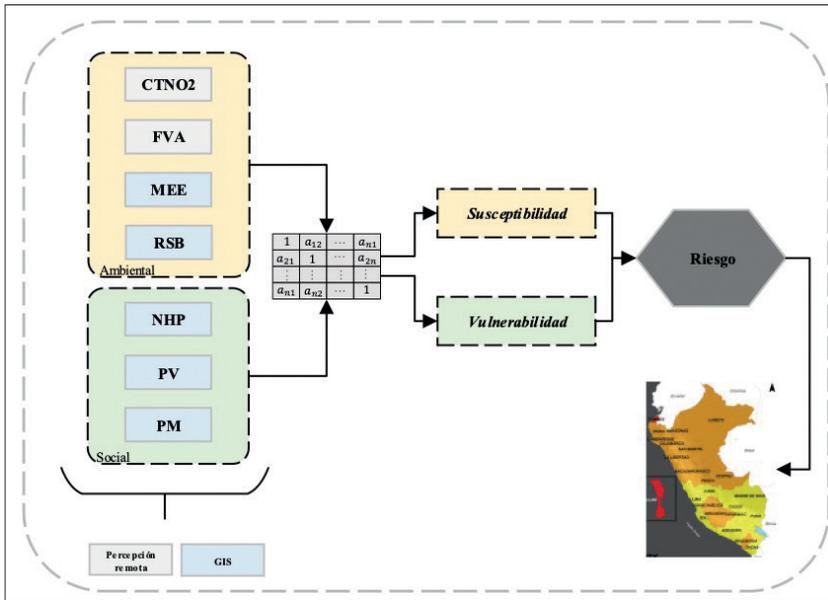


Figura 1. Variables ambientales y sociales usados en PAJ para determinar el riesgo de propagación del SARS-CoV-2 en las regiones del Perú. Fuente: elaboración propia.

Porcentaje del número de hospitales por población (NHP)

Perú cuenta con 19 859 infraestructuras del sector salud (INEI, 2018), distribuidas en las 25 regiones. En este estudio extrajeron únicamente los datos de hospitales, la principal infraestructura del sector salud que acoge a las personas infectadas por COVID-19. La información se obtuvo del INEI (<http://m.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/health-sector-establishments/>, última visita el 17 de mayo de 2020); cabe mencionar que para la generación del porcentaje se multiplicaron al número de hospitales por un factor de 100 000 y se dividió entre la población total registrada en el último censo nacional.

Pobreza monetaria (PM)

El dato de PM brindado por INEI (2019) agrupa

a las regiones en cinco, y estos datos reflejan qué regiones tienen mayor población sin capacidad de adquirir una canasta básica de alimentos y no alimentos.

PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (PAJ)

En la Tabla 1 se presentan todas las variables ambientales y sociales utilizadas para determinar el riesgo de propagación del SARS-CoV-2 en las regiones del Perú; primero se estandarizaron las variables, luego se determinó el peso de cada una, se construyó la matriz para comparar una a una las variables en relación con su importancia, en una escala del 1 al 9, donde 1 indica la misma importancia y 9 extremadamente importante. Del análisis de las variables ambientales resulta el mapa

Tabla 1. Variables utilizadas en el estudio.

Categoría	Variables	Abreviatura	Unidad	Fuente
Ambiental	Columna troposférica de NO ₂	CTNO ₂	mol/m ²	(ESA, 2020)
Ambiental	Flujo vertical de aire	FVA	Omega, Pa/s	(NOAA, 2020)
Ambiental	Porcentaje de residuos sólidos dispuestos en botaderos	RDB	Porcentaje de residuos sólidos en botaderos / Región	(Orihuela Paredes, 2018)

Tabla 1. Continuación.

Categoría	Variabes	Abreviatura	Unidad	Fuente
Ambiental	Porcentaje de la población sin ningún mecanismo de eliminación de excreta	MEE	Porcentaje de personas sin ningún mecanismo de eliminación de excreta / Región	(INEI, 2016)
Social	Niveles de pobreza monetaria	PMP	Grupo de pobreza monetaria / Región	(INEI, 2019)
Social	Porcentaje del número de hospitales por población	NHP	Número de Hospitales x 100 000 / Población por región	(INEI, 2018)
Social	Población vulnerable	PV	Población vulnerable / Región	(INEI, 2017)
Social	Número de casos positivos al COVID – 19*	-	Población infectada por COVID-19 / Región	(MINSA, 2020)

*Datos extraídos al 28 de abril del 2020

de susceptibilidad frente a la propagación del virus SARS-CoV-2, mientras que de las variables sociales se deriva el mapa de vulnerabilidad. Finalmente, del producto de ambos resulta el mapa de final del riesgo. Además, se realizó el análisis individual entre el número de casos positivos al COVID-19 de cada región y cada variable ambiental y social.

RESULTADOS

Variabes ambientales

La Figura 2 muestra el mapa de distribución de NO₂ troposférico antes y después del periodo de aislamiento social en las regiones, mientras que la Figura 3 muestra el mapa de flujo vertical de aire-omega (Pa/s). La Figura 4a muestra los casos positivos al COVID-19, CTNO₂ y FVA. Los mayores casos positivos al COVID-19 se dan en Lima (20 048 casos), Callao (2933 casos), Lambayeque (1814 casos), Piura (960 casos) y Loreto (881 casos), y son algunas de estas regiones donde se han observan las mayores concentraciones de NO₂ troposférico promedio antes del periodo de aislamiento social, como en Callao (41 umol/m²), Lima (16 umol/m²) y Lambayeque (10 umol/m²), además, en estas regiones se observa que los flujos verticales de aire son más cercanos a 0. En la Figura 4b se muestra que las regiones que concentraban

más del 40% de MEE son Loreto y Ucayali, además, estas se encontraban entre las 10 regiones con el mayor número de casos positivos al COVID-19; mientras que el Callao, Lima y Tacna, concentran menos del 2% de la población que no cuenta con mecanismos de eliminación de excretas; sin embargo, las regiones de Callao y Lima presentaron el número más alto de personas afectadas por el COVID-19. La Figura 4b muestra que las regiones donde existen mayor número de casos positivos al COVID-19 presentan una RSB mayor al 65% (Lima, Callao, Lambayeque, Piura, Loreto, entre otros), y en general se observó que en todas las regiones existe una tendencia de disposición final de residuos sólidos en botaderos mayor al 45%, solo en el Callao es 0%, ya que no cuenta con esos espacios (MINAM, 2020c).

Variabes sociales

En la Figura 5a se observa que, en promedio, el NHP en todas las regiones es de 1 a 2, incluso en las 5 primeras regiones que presentan un mayor número de casos positivos al COVID-19. En cuanto a la PV, se observa que en las cinco primeras regiones, según el acumulado de casos positivos al COVID-19, existe menor PV, además, se advierte que en todas las regiones existen entre 30% y 45% de PV. La Figura 5b muestra que Lima, Callao, La Libertad, Piura y Loreto son las regiones que

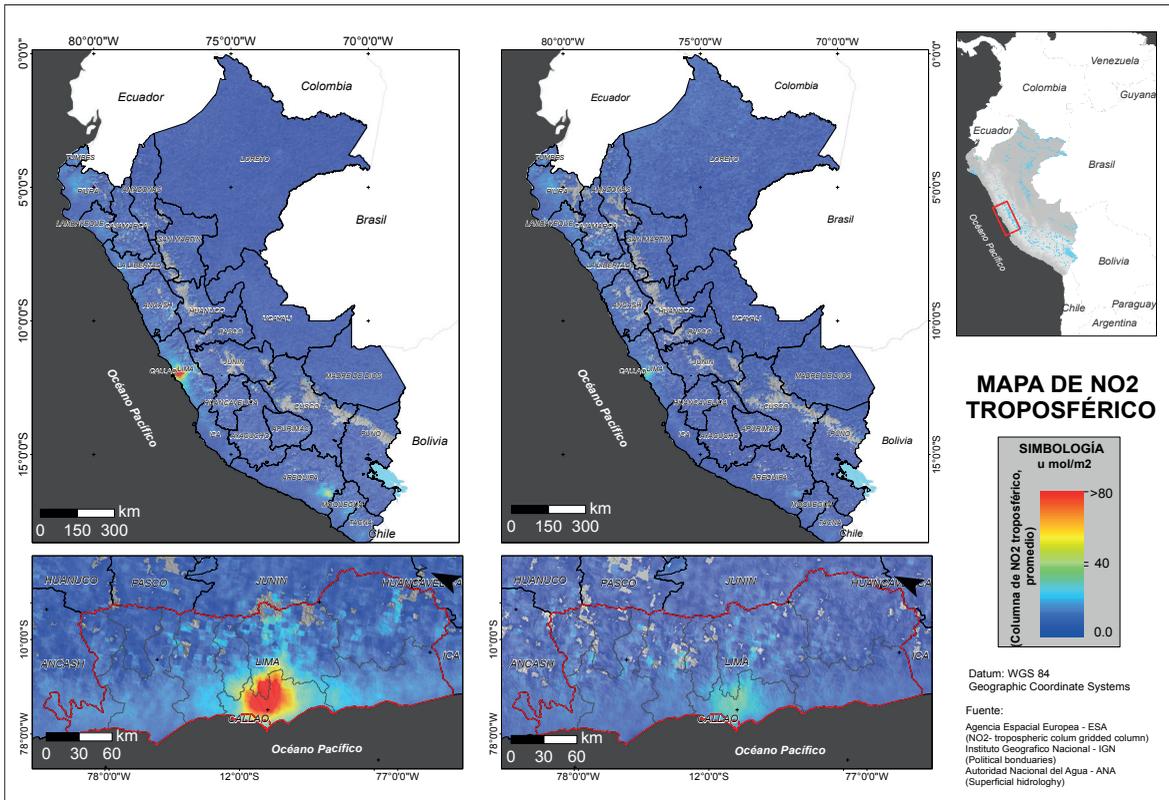


Figura 2. Cambios en la concentración del NO₂ troposférico en las regiones del Perú. En a1 y a2 se muestra las concentraciones de NO₂ antes del periodo de cuarentena para Perú y la región Lima, respectivamente, en b1 y b2 se muestra las concentraciones de NO₂ después del periodo de cuarentena para Perú y Lima, respectivamente.

presentan el mayor número de casos positivos al COVID-19 y se encuentran entre los grupos 2 y 4 de PM, en una escala de 1 a 5, donde el grupo 1 representa a regiones con menor PM, mientras que el grupo 5 es la región con mayor PM.

Proceso de análisis jerárquico

Variables de susceptibilidad frente al SARS-CoV-2

La Tabla 2 muestra los valores de los pesos relativos obtenidos a partir de la matriz de comparación por pares. Estas indican que el CTNO₂ y el FVA son los parámetros más importantes con valores de 0.435 y 0.407, respectivamente, seguidos del MEE con un valor de 0.106, y por último, RSB con un valor de 0.052. El índice de relación de consistencia (CR) es 0.032, valor que indica un adecuado grado de consistencia en el peso de cada variable analizada.

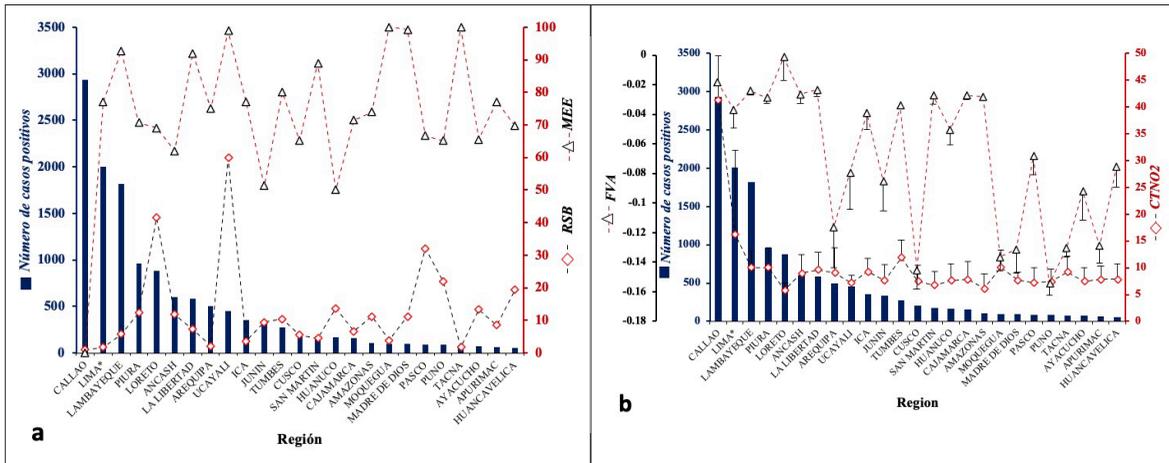
Las cuatro variables ambientales causales se integran en el índice de susceptibilidad de las regiones frente al virus SAR-CoV-2 (IS_{SC2}) que se expresa como una suma lineal ponderada como se muestra en la siguiente ecuación.

$$IS_{SC2} = 0.43xTCNO2 + 0.407xVA - 0 + 0.106xWED + 0.052xSWO \quad (1)$$

Variables de vulnerabilidad frente al SARS-CoV-2

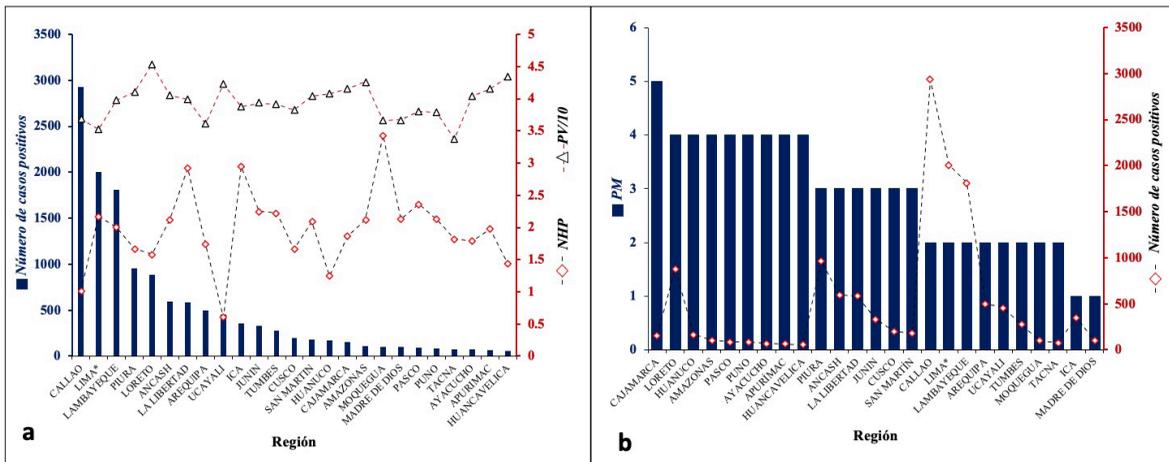
Los valores de los pesos relativos de las variables analizadas de la vulnerabilidad obtenidas a partir del PAJ se muestra en la Tabla 3, lo que indica que el NHP es el parámetro más importante, con 0.584, seguido de la PV con 0.297, y por último, la PM con un valor de 0.118.

Para integrar las tres variables analizadas y determinar los niveles de vulnerabilidad de las regiones se usó el índice de vulnerabilidad frente



* El número de infectos por COVID-19 para la región Lima se dividió entre 10.

Figura 4. Comportamiento de las variables ambientales sobre el acumulado de casos positivos por COVID-19 a nivel regional en el Perú. a. Comportamiento del CTNO2 y FVA sobre el número de infectados por COVID-19; b. Comportamiento de MEE y RDB sobre el número de infectados por COVID-19.



*El número de infectos por COVID-19 para la región Lima se dividió entre 10.

Figura 5. Comportamiento de las variables sociales sobre el acumulado de casos COVID-19 a nivel de regiones en el Perú incluyendo la provincia constitucional del Callao: a. Comportamiento del NHP y PV sobre el número de infectados por COVID-19; b. Comportamiento de PM sobre el número de infectados por COVID-19.

Tabla 3. Matriz de comparación de pares, factor de peso y relación consistencia de la influencia de los variables de la vulnerabilidad frente al virus SAR-CoV-2.

Variables de influencia	Matriz de comparación de pares			Peso
	NHP	PV	PM	
NHP	1.00	2.00	4.00	0.557
PV		1.00	3.00	0.320
PM			1.00	0.123

Relación de consistencia (<0.04) = 0.017

al virus SAR-CoV-2 (IV_{SC2}) que se expresa como una suma lineal ponderada, tal como se muestra en la Ecuación 2.

$$IV_{SC2} = 0.557xNHP + 0.320xVP + 0.123xMP \quad (2)$$

Del producto de los valores de los niveles de susceptibilidad y vulnerabilidad se obtiene los niveles de riesgo por región frente al virus SAR-CoV-2 (CENEPRED, 2015). En la Figura 6 se muestran los mapas de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo a nivel regional frente al virus SAR-CoV-2, con una clasificación en cuatro niveles (bajo, medio, alto y muy alto) acorde a la que establece el método seguido (Pourghasemi, Pradhan y Gokceoglu, 2012).

Se identificaron regiones (Lambayeque, Callao, Tumbes y Lima) que presentaron un nivel de susceptibilidad “muy alto” frente a la propagación del SARS-CoV-2, además, La Libertad, Piura, Loreto, Ancash, Cajamarca, Amazonas, Ica, San Martín, Huancavelica y Pasco mostraron un nivel de susceptibilidad “alto”. La mayoría de estas regiones están ubicadas en el norte y en la costa central del Perú, las demás se encuentran en un nivel de susceptibilidad “medio” y “bajo” (Cusco). Cabe mencionar que todas las regiones con susceptibilidad “muy alta” se hallan en la costa del Perú; en cuanto a los niveles de vulnerabilidad se encontró que Huancavelica, Huánuco, Ucayali, Amazonas y Loreto mostraron un nivel “muy alto” de vulnera-

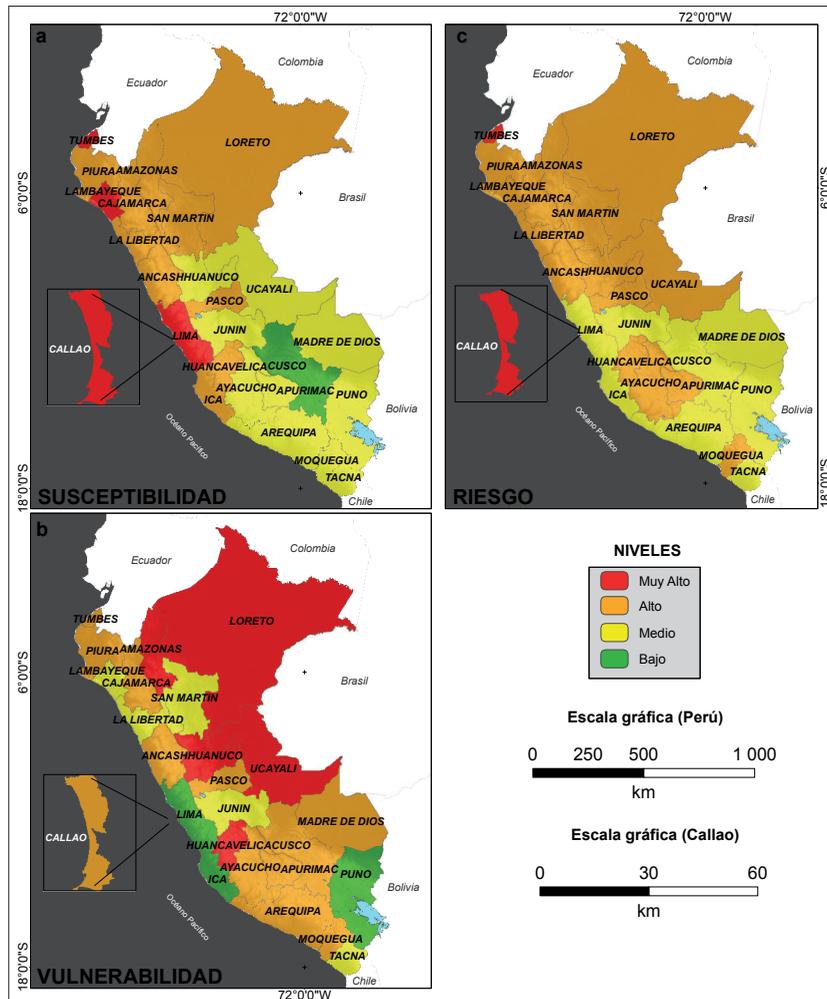


Figura 6. a Mapa de susceptibilidad frente a la propagación del virus SARS-CoV-2; b Mapa de vulnerabilidad a la propagación del virus SARS-CoV-2; c Mapa de riesgo frente a la propagación del virus SARS-CoV-2.

bilidad frente a la propagación del SARS-CoV-2, y seis regiones que se encuentran en el sur del Perú (Moquegua, Apurímac, Cusco y Arequipa), dos en el centro (Pasco y Callao) y tres al norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Ancash) presentaron un nivel de vulnerabilidad “alto”, las demás están en un nivel de vulnerabilidad “medio” y “bajo”.

En cuanto al riesgo, Callao y Tumbes presentan un nivel “muy alto”, Piura, Loreto, Lambayeque, Huancavelica, Amazonas, Cajamarca, Ucayali, Huánuco, Ancash, Moquegua, Pasco, Ayacucho, San Martín, La Libertad y Apurímac presentan nivel “alto”; todas las demás regiones muestran un nivel de riesgo “medio”.

DISCUSIÓN

Variables ambientales

El mapeo de CTNO₂ sobre las regiones muestra una notable reducción antes y después del periodo de cuarentena de hasta tres veces en regiones con alta densidad poblacional, intensiva actividad industrial y una gran actividad del parque automotor como Arequipa, Callao, Lima y Piura. Los mayores valores de CTNO₂ troposféricos están distribuidos en regiones de la costa (norte, centro y parte del sur), algunas de ellas son Lima, Callao, Lambayeque y Piura, regiones donde se registraron mayores casos positivos al COVID-19. Por otro lado, Amazonas presenta el menor valor de CTNO₂. Dicha región se encuentra dentro de las diez con menor cantidad de casos de COVID-19 confirmados. Por lo tanto, es posible que exista una relación directa entre la cantidad de CTNO₂ y el número de casos de COVID-19 confirmados, como se ha demostrado en el estudio de Ogen (2020), además X. Wu *et al.* (2020) mencionan que la exposición a una mala calidad del aire a largo plazo podría exacerbar la sintomatología por COVID-19, e incluso el riesgo de mortalidad por esta enfermedad. Con respecto al FVA, se observa que su mayor valor “<-0.02” Pa/s (cerca a 0), ha sido detectado en la región de Loreto, la cual se encuentra dentro de las cinco zonas con mayor número de casos positivos al COVID-19. Asimismo, el menor valor del FVA ha sido detectado en la región de Puno (>-0.16

Pa/s), la cual se encuentra dentro de las cinco regiones con menor número de casos positivos al COVID-19. Por lo tanto, es posible que exista una relación directa entre las regiones que tienen un FVA más estable (favorecimiento a la concentración de contaminantes) y la cantidad de casos positivos al COVID-19. En resumen, se encontró que las regiones que tienen un mayor número de casos positivos al COVID-19, existe una prevalencia de altos valores de CTNO₂ y el FVA se encuentra en valores muy cercanos a 0 Pa/s, es decir, zonas donde predominan condiciones de estabilidad atmosférica, lo que condiciona que no solo el NO₂, sino también otros contaminantes atmosféricos se concentren cerca de la superficie terrestre. Sumado a esto Wang *et al.* (2020) mencionan que las condiciones ambientales pueden estar vinculadas a la tasa de propagación del SARS-CoV-2 y a la severidad de la enfermedad.

En cuanto al MEE, regiones como Loreto y Ucayali presentan valores superiores al 40%, además, según SUNASS (2015), en ambas regiones no existen PTAR con tratamiento por desinfección y las regiones de la costa peruana, donde se han observado un mayor número de casos positivos al COVID-19, tienen un MEE menor al 15%, por lo cual, establecer una relación inversa o directa entre el MEE y casos positivos al COVID-19 no sería completamente adecuado. No obstante, la ausencia de mecanismos de eliminación de excretas podría traer problemas de salud pública relacionados a contraer el COVID-19, debido a que el virus está presente en las excretas de personas contagiadas (Ahmed *et al.*, 2020; Medema *et al.*, 2020; Rosa *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020; Wurtzer *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020) the etiologic agent of the ongoing COVID-19 pandemic, is accompanied by the shedding of the virus in stool. Therefore, the quantification of SARS-CoV-2 in wastewater affords the ability to monitor the prevalence of infections among the population via wastewater-based epidemiology (WBE). En cuanto al RSB, Loreto y Ucayali presentan valores mayores al 40%, y aunque no se encontró una relación directa entre este factor y los casos positivos al COVID-19 a nivel regional, se deben tomar precauciones en el manejo de los residuos sólidos generados por personas infectadas

con el COVID-19 ya que podría ser una vía de transmisión potencial (Association of Cities and Regions for Sustainable Resource Management, 2020; SWANA, 2020). Por su parte, Van Doremalen *et al.* (2020) mencionan el tiempo de permanencia en los desechos de acero inoxidable, plástico, cartón y cobre, lo que se podría relacionar con el número de casos positivos al COVID-19, ya que, su tiempo de permanencia en este tipo de residuos sólidos puede ser de varias horas, por lo tanto, la medida adoptada por el gobierno peruano en relación al reciclaje, mencionado en el D.S.N° 080-2020-PCM, podría aumentar el número de casos de infección por COVID-19 en las personas involucradas en el ciclo de la gestión de residuos sólidos.

Variables sociales

NHP no mostró una asociación uniforme con el número de casos positivos al COVID-19. En el Perú la emergencia sanitaria por COVID-19 ha puesto a prueba los sistemas de salud, en donde el número de recursos humanos en salud (RHS) es de 1.3/100 000 habitantes (Diario Gestión, 2018), mientras que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) sugiere que el RHS debería ser 2.3/100 000 habitantes (OPS, 2015). La World Health Organization (2020) indica que, cuando los sistemas de salud se desbordan, se exagera la morbilidad, se intensifica la discapacidad y aumenta tanto la mortalidad por el brote como la mortalidad por afecciones prevenibles y tratables con vacunas, finalmente, el sistema de salud del Perú se encuentra cerca al límite a pesar de los múltiples esfuerzos realizados por el gobierno (El Diario, 2020). En todas las regiones existe entre un 30% y 45% de PV, Vohora (2017) menciona que las poblaciones vulnerables corren un mayor riesgo durante un escenario adverso. Finalmente, se encontró que las regiones con los mayores números de casos positivos al COVID-19 están ubicados al norte del Perú y corresponden a los grupos de PM 2, 3 y 4. Ahmed *et al.* (2020) mencionan que las desventajas y desigualdades socioeconómicas durante una epidemia se hacen más evidentes, en consecuencia, el impacto económico generado por COVID-19 en Perú ha conllevado a elevar las tasas de desempleo (Vinelli y Maurer, 2020).

Proceso de análisis jerárquico

La presente investigación combinó variables ambientales y sociales analizados con PAJ determinando que los niveles de riesgo “alto” y “muy alto” de propagación del SARS-CoV-2 se encuentran en mayor proporción en el norte y centro del Perú, además de algunas regiones del sur; estos resultados se explican debido a que en estas regiones existe un nivel considerable de vulnerabilidad y susceptibilidad. El modelo podría estar limitado por la relativa poca cantidad de variables analizadas, pero es el primer estudio en el que se revisan variables ambientales y sociales en el Perú y que se muestra, de una manera relativamente simple, que nuestros resultados van acorde a lo encontrado por CDC-MINSA (2020), donde el 60% de las regiones deben fortalecer la atención de casos y el control frente al COVID-19, mientras que en esta investigación se encontró que el 68% de las regiones se encuentran en un nivel de riesgo de propagación del SARS-CoV-2 “alto” y “muy alto”. Además de las zonas consideradas por CDC-MINSA (2020), este estudio sugiere que se deben incluir a las regiones San Martín y Ayacucho dentro de las priorizadas; en el estudio realizado por Yaser Burhum (2020) se demostró que al 16 de mayo del 2020 todas las regiones mantenían un índice R mayor a 1, con lo que se puede inferir que el SARS-CoV-2 en el Perú aún se encuentra en una etapa de propagación, esto podría estar relacionado a que las variables ambientales y sociales analizadas en el presente estudio y otras no analizadas influirían en su propagación.

CONCLUSIONES

De los primeros hallazgos se concluye que la tendencia de CTNO₂ y FVA presentaron una relación directa con el número de casos positivos al COVID-19 en cada región; sin embargo, las otras variables ambientales y sociales muestran relación directa solo con algunas regiones, por lo que al realizar el PAJ las variables se han complementado entre sí.

Se analizan las variables sociales y ambientales en conjunto, que estarían asociados a la propagación del SARS-CoV-2 dentro del PAJ. Con

respecto a esto, nuestros resultados están acorde a estudios previos de CDC-MINSA (2020) y Burhum (2020). También concluimos que en el 68% de las regiones existe un “alto” y “muy alto” riesgo de propagación del SARS-CoV-2 de acuerdo con las variables analizadas, y que estas se encuentran en el norte del Perú, por lo cual se debería tener especial cuidado en las medidas tomadas posaislamiento social, específicamente en regiones como el Callao, Tumbes, Piura, Loreto y Lambayeque a fin de evitar un rebrote y colapso en los sistemas de salud. Basado en los resultados expuestos en la presente investigación se considera que el gobierno debe impulsar con mayor fuerza las políticas públicas de gestión de la calidad de aire, gestión integral de residuos sólidos y servicios de saneamiento por red pública y de alcantarillado urbano y rural, a fin de disminuir el riesgo de propagación del SARS-CoV-2. Vale aclarar que estas medidas se deben realizar con fines precautorios debido a la poca evidencia científica hasta el momento; además, se sugiere que se cubra el déficit de recursos humanos e infraestructura en salud y disminuir las brechas sociales. Finalmente, sugerimos que la metodología adoptada en este estudio podría ser replicada a diferentes escalas, considerando la introducción de más variables según la realidad de cada zona de estudio.

REFERENCIAS

- Ahmadi, M., Sharifi, A., Dorosti, S., Jafarzadeh Ghouschi, S. y Ghanbari, N. (2020). Investigation of effective climatology parameters on COVID-19 outbreak in Iran. *Science of the Total Environment*, 729, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138705>
- Ahmed, F., Ahmed, eem, Pissarides, C., y Stiglitz, J. (2020). Why inequality could spread COVID-19. *The Lancet Public Health*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30673-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30673-5)
- Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J. W., ... Mueller, J. F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of The Total Environment*, 728, 138764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
- Association of Cities and Regions for sustainable Resource management. (2020). Municipal waste management and COVID-19. Recuperado el 20 de abril de 2020 de <https://www.acrplus.org/en/municipal-waste-management-covid-19#france>
- Banco Mundial. (2015, 13 de mayo). América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed. Recuperado el 5 de mayo de 2020 de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/05/13/america-latina-la-region-con-mas-agua-la-mas-castigada-por-la-sed>
- CDC-MINSA. (2020). *Análisis Epidemiológico de la Situación Actual de COVID-19 en el Perú, basado en la información de la Vigilancia Epidemiológica y la Investigación de Campo*. Lima. Recuperado de <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/tools/coronavirus/analisiscoronavirus080520.pdf>
- CENEPRED. (2015). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales-02 Versión*. Lima, Perú. Recuperado from https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- Chen, K., Wang, M., Huang, C., Kinney, P. L., y Anastas, P. T. (2020). Air Pollution Reduction and Mortality Benefit during the COVID-19 Outbreak in China. *MedRxiv Preprint*. <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20039842>
- Diario Gestión. (2018). Perú tiene 12.8 médicos por cada 10,000 habitantes, muy abajo de países OCDE. Recuperado el 16 de mayo de 2020 de <https://gestion.pe/peru/peru-12-8-medicos-10-000-habitantes-abajo-paises-ocde-236346-noticia/>
- Diario Oficial El Peruano. (2020). Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19. Recuperado el 9 de mayo de 2020 de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-declara-estado-de-emergencia-nacional-po-decreto-supremom-044-2020-pcm-1864948-2/>
- El Diario. (2020). Perú cerca del colapso tras seis semanas intentando contener al coronavirus. Recuperado el 16 de mayo de 2020 de https://www.eldiario.es/sociedad/Peru-colapso-intentando-contener-coronavirus_0_1020149086.html
- ESA. (2020). European space agency. Recuperado April 30, 2020 de <https://www.esa.int/>
- Eskes, H., Van Geffen, J., Boersma, F., Eichmann, K.-U., Apituley, A., Pedergrana, M., ... Loyola, D. (2019). *Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Nitrogen dioxide*.
- Guan, W. J., Ni, Z. Y., Hu, Y., Liang, W. H., Ou, C. Q., He, J. X., ... Zhong, N. S. (2020). Clinical Charac-

- teristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *The New England Journal of Medicine*, 1–13. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>
- Hamidi, S., Sabouri, S., y Ewing, R. (2020). Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic?: Early Findings and Lessons for Planners. *Journal of the American Planning Association*, 86(4), 495–509. <https://doi.org/10.1080/01944363.2020.1777891>
- INEI. (2016). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Lima. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf
- INEI. (2017). Capítulo 1 del Perfil Sociodemográfico del Perú: Anexo Estadístico. Recuperado el 29 de abril de 2020 de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/index.htm
- INEI. (2018). Establecimientos del Sector Salud. Recuperado from <http://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/health-sector-establishments/>
- INEI. (2019). *Evolución de la Pobreza Monetaria 2017 - 2018*. Lima. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1646/libro.pdf
- Labib, A. (2014). Introduction to the Analytic Hierarchy Process. In *Learning from Failures* (pp. 33–44). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416727-8.00003-5>
- Lin, K., Chen, H., Xu, C. Y., Yan, P., Lan, T., Liu, Z., y Dong, C. (2020). Assessment of flash flood risk based on improved analytic hierarchy process method and integrated maximum likelihood clustering algorithm. *Journal of Hydrology*, 584, 124696. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124696>
- M. Vinelli, y A. Maurer. (2020, April 24). Impacto del COVID-19 en el empleo en el Perú. Recuperado el 16 de mayo de 2020 de <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2020/04/24/impacto-del-covid-19-en-el-empleo-en-el-peru/>
- Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R., y Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. *MedRxiv*, 2020.03.29.20045880. <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20045880>
- Méndez-Martínez, S., García-Carrasco, M., Jiménez-Herrera, E. A., Mendoza-Pinto, C., Etchegaray-Morales, I., Barahona-Rubio, P. W., ... Rojas-Vallaraga, A. (2018). Factors of the epidemiological triad that influence the persistence of human papilloma virus infection in women with systemic lupus erythematosus. *Lupus*, 27. <https://doi.org/10.1177/0961203318773176>
- MINAM. (2020a). Calidad de aire en Lima durante cuarentena alcanzó niveles que recomienda Organización Mundial de Salud. Recuperado el 7 de mayo de 2020 de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/110755-calidad-de-aire-en-lima-durante-cuarentena-alcanzo-niveles-que-recomienda-organizacion-mundial-de-salud>
- MINAM. (2020b). Gobierno reactivará el reciclaje de manera gradual y controlada. Recuperado May 9, 2020 de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/143662-gobierno-reactivara-el-reciclaje-de-manera-gradual-y-controlada?fbclid=IwAR2yLI3yFDu8jQiABhsBolwhy-kPjQ0iFg-GbwpUexBgGL-DodvkQn3gw4S8>
- MINAM. (2020c). Infraestructuras de disposición final de residuos sólidos - Listado de rellenos sanitarios en el Perú. Recuperado el 29 de abril de 2020 de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279709-listado-de-rellenos-sanitarios>
- MINSAs. (2020). Sala Situacional COVID-19 PERÚ. Recuperado April 28, 2020 de https://covid19.minsa.gob.pe/sala_situacional.asp
- NOAA. (2020). Physical Sciences Laboratory.
- Nzediegwu, C., y Chang, S. X. (2020). Developing Countries For Submission to : Resources Conservation y Recycling Type of Paper : Perspective. *Resources, Conservation y Recycling*, 104947. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104947>
- Ogen, Y. (2020). Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Science of the Total Environment*, 726, 138605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>
- OPS. (2015). La OPS/OMS destaca la necesidad de formar más personal de enfermería en América Latina y el Caribe. Recuperado el 16 de mayo de 2020 de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_contentyview=articleyid=10947:2015-pahowho-highlights-need-train-more-nursing-personnelyItemid=1926ylang=es
- Orihuela Paredes, J. C. (2018). *Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de residuos sólidos en el Perú y sus determinantes*. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/residuos-solidos.pdf>
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., y Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965–996. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0217-2>
- Requia, W. J., Kondo, E. K., Adams, M. D., Gold, D. R., y Struchiner, C. J. (2020). Risk of the Brazilian health care system over 5572 municipalities to exceed health care capacity due to the 2019 novel

- coronavirus (COVID-19). *Science of the Total Environment*, 730, 139144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139144>
- Rosa, G. La, Iaconelli, M., Mancini, P., Ferraro, G. B., Veneri, C., Bonadonna, L., y Lucentini, L. (2020). First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *MedRxiv*, 2020.04.25.20079830. <https://doi.org/10.1101/2020.04.25.20079830>
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. Nueva York: McGraw-Hill International.
- Scheinberg, C. A., Woolridge, A., Humez, N., Mavropoulos, A., y Silva, C. (2020). *Waste management during the COVID-19 pandemic*. Recuperado de https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/0001_COVID/ISWA_Waste_Management_During_COVID-19.pdf
- SUNASS. (2015, September). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Recuperado el 5 de mayo de 2020 de <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- SWANA. (2020). Guidance on Coronavirus Basic COVID-19 Information.
- Tavares, F. F., y Betti, G. (2021). The pandemic of poverty, vulnerability, and COVID-19: Evidence from a fuzzy multidimensional analysis of deprivations in Brazil. *World Development*, 139, 105307. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105307>
- Tobías, A. (2020). Evaluation of the lockdowns for the SARS-CoV-2 epidemic in Italy and Spain after one month follow up. *Science of the Total Environment*, 725, 138539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138539>
- 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. *The New England Journal of Medicine*, 382(16), 1564–1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Vassou, V., Labib, A., y Roberts, M. (2006). A decision model for junction improvement schemes. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 159(3), 127–134. <https://doi.org/10.1680/tran.2006.159.3.127>
- Vohora, D. (2017). Ethical Considerations in Clinical Research. In *Pharmaceutical Medicine and Translational Clinical Research* (pp. 265–283). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802103-3.00015-8>
- Wang, J., Tang, K., Feng, K., y Lv, W. (2020, March 11). High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3551767>
- World Health Organization. (2020). *Strengthening the Health Systems Response to COVID-19 - Technical Guidance #1*. Recuperado from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/436354/strengthening-health-systems-response-COVID-19-technical-guidance-1.pdf
- Wu, F., Xiao, A., Zhang, J., Gu, X., Lee, W. L., Kauffman, K., ... Alm, E. (2020). SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. *MedRxiv*, 2020.04.05.20051540. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20051540>
- Wu, X., Nethery, R. C., Sabath, B. M., Braun, D., y Dominici, F. (2020, April 27). Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. *MedRxiv*. Cold Spring Harbor Laboratory Press. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>
- Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J.-M., y Moulin, L. (2020). Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. *MedRxiv*, 2020.04.12.20062679. <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>
- Yaser Burhum, E. R. (2020). El Martillazo y el Huayno. Recuperado de <https://medium.com/@rburhum/el-martillazo-y-el-huayno-278716f49938>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Alejandra Ruano, M., y Sanchez-Alcalde, L. (2020). Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, 728, 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>
- Zhang, Y., Chen, C., Zhu, S., Shu, C., Wang, D., Song, J., ... Xu, W. (2020). Isolation of 2019-nCoV from a Stool Specimen of a Laboratory-Confirmed Case of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *China CDC Weekly*, 2(8), 123–124. <https://doi.org/10.46234/CCDCW2020.033>
- Zhou, S., y Yang, P. (2020). Risk management in distributed wind energy implementing Analytic Hierarchy Process. *Renewable Energy*, 150, 616–623. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.125>
- Ziegler-Rodríguez, K., Margallo, M., Aldaco, R., Vázquez-Rowe, I., y Kahhat, R. (2019). Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 229, 989–1003. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.015>