

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Impacto de la medida de aislamiento social obligatorio por
COVID-19 en la calidad del aire (PM10, PM2.5, SO2 y CO)
de Lima metropolitana**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Kevin Ludwing Rafael Quispe

Asesor:

Ing. Orlando Alan Poma Porras

Lima, abril de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Orlando Alan Poma Porras, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Impacto de la medida de aislamiento social obligatorio por COVID-19 en la calidad del aire (PM10, PM2.5, SO2 y CO) de Lima metropolitana”** constituye la memoria que presenta el Bachiller Kevin Ludwing Rafael Quispe para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 13 días del mes de abril del año 2021



Ing. Orlando Alan Poma Porras

DNI 06961919

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 13 días día(s) del mes de **abril** del año 2021 siendo **las 18:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez**, y los demás miembros: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio** y **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas** y el asesor **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Impacto de la medida de aislamiento social obligatorio por COVID-19 en la calidad del aire (pm10, pm2.5, so2 y co) de Lima metropolitana" de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **KEVIN LUDWING RAFAEL QUISPE** b)

.....

..... c)

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **KEVIN LUDWING RAFAEL QUISPE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	


Candidato (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga



Secretario
Mg. Iliana Del Carmen
Gutierrez Rodriguez

Asesor
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Miembro
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernandez Rojas



Candidato/a (a)
Kevin Ludwing Rafael
Quispe

Candidato/a (b)

Candidato/a (c)

**IMPACTO DE LA MEDIDA DE AISLAMIENTO SOCIAL OBLIGATORIO
POR COVID-19 EN LA CALIDAD DEL AIRE (PM10, PM2.5, SO2 Y CO) DE
LIMA METROPOLITANA (español)**

**IMPACT OF THE MANDATORY SOCIAL ISOLATION MEASURE FOR
COVID-19 ON AIR QUALITY (PM10, PM2.5, SO2 Y CO)
IN METROPOLITAN LIMA (inglés)**

Rafael Quispe Kevin Ludwing ¹*, Poma Porras Orlando Alan ²

^{1,2} E.P. Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana
Unión, Lima, Perú

*Corresponding author: kevinrafael@upeu.edu.pe

Resumen

El aislamiento social obligatorio, por COVID-19, fue una medida de bloqueo que tomó el gobierno peruano para frenar la propagación del virus en el Perú. Empezó el 16 de marzo del 2020, fue “suavizado” el 1 de mayo y terminó el 30 de junio del 2020, limitando todas las actividades. Este estudio fue realizado en Lima Perú, ciudad que es considerada una de las más contaminadas del mundo en términos de material particulado PM2.5. El enfoque metodológico consideró tres periodos de tiempo “antes”, “durante” y “después”, y se tuvo como objetivo examinar el impacto de esta medida en la calidad del aire, utilizando los datos de concentración horaria de cuatro contaminantes: PM10, PM2.5, SO2 Y CO, tomadas de tres estaciones de monitoreo del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología, los resultados fueron comparadas con las concentraciones del año 2019, consideradas como periodo de referencia. Se observó que existía una diferencia estadística significativa en los grupos de datos de ambos años, la reducción observada, durante el periodo de aislamiento social, fue de 24.79%, 15.44% y 95.27% de PM10, PM2.5 y CO, en la estación Campo de Marte; y de 47.24 % de PM10, en la estación Santa Anita; y 25.53 % de SO2, en la estación San Juan de Lurigancho, Para la etapa posterior a la medida de aislamiento, se observó el incremento de las concentraciones fueron de 26.76% y 40.32% de PM10 y PM2.5, en la estación Campo de Marte; y de 18.75 % de PM10, en la estación Santa Anita; y de 17.55 % de SO2, en la estación de San Juan de Lurigancho. Evidenciándose, de esta manera, el incremento paulatino de contaminantes a medida que se reactivan las actividades humanas.

Palabras Clave: bloqueo, COVID-19, contaminación del aire, Perú, después.

Abstract

The mandatory social isolation due to COVID-19 was a blocking measure that the Peruvian government took to stop the spread of the virus in Peru and began on March 16, 2020, was “softened” on May 1 and ended on June 30 2020 limiting all activities. This study was carried out in Lima Peru, a city that is considered one of the most polluted in the world in terms of particulate matter (PM_{2.5}) with a focus on studying three periods of time "before", "during" and "after". The objective is to examine the impact that this measure had on air quality using hourly concentration data for four pollutants (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ and CO) taken from 3 monitoring stations of the National Hydrology and Meteorology Service comparing the results with the reference concentrations of the following year as a period of. It is believed that there was a statistically significant difference in the data groups in both years, the observed reduction was 24.79%, 15.44% and 95.27% in PM₁₀, PM_{2.5} and CO respectively during the period of social isolation at Campo de Marte, 47.24% of PM₁₀ in the Santa Anita station and 25.53% of SO₂ in the San Juan de Lurigancho station. For the stage after the isolation measure, the increase in concentrations was increased by 26.76% and 40.32% of PM₁₀ and PM_{2.5} respectively at the Campo de Marte station, 18.75% of PM₁₀ at the Santa Anita station and 17.55% of SO₂ at the San Juan de Lurigancho station. Evidence of the gradual increase in pollutants as human activities are reactivated.

Keywords: lockdown, air, pollution, COVID-19, Peru, After

1. Introducción

A finales del 2019, en Wuhan China, se presentaron una serie de casos de neumonías con causa desconocida que posteriormente fueron identificadas como un nuevo coronavirus (Huang et al., 2020). Este nuevo virus se expandió rápidamente por China y otros 110 países, siendo que para el 11 de marzo del 2020 fueron confirmados aproximadamente 118,319 casos (OMS, 2020). Basado en esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) denominó a este virus como COVID-19 (OMS, 2019). Debido a su expansión exponencial, fueron establecidas medidas de bloqueo y restricción en muchos países, entre estas, se implementaron prohibiciones de viaje y confinamiento total, con el objetivo de frenar la propagación del virus (Menut et al., 2020).

Estas medidas dieron lugar a una reducción de diferentes contaminantes atmosféricos en todos los países que adoptaron estas medidas de confinamiento (IQAir, 2020; Menut et al., 2020).

Por ejemplo, en China se redujo las emisiones de carbono en 25% (Isaifan, 2019). En la India se encontró que la concentración de partículas con un diámetro menor a 10 y 2.5 micras (PM10 y PM2.5) se redujeron en 50% (Mahato et al., 2020). En Corea se descubrió que los niveles medios de PM2.5, PM10 y CO disminuyeron en un 45,45%, 35,56% y 17,33%, respectivamente (Ju et al., 2021). En Egipto se encontró que, en las gobernaciones de El Cairo y Alejandría, el CO disminuyó en aproximadamente un 5% en ambas gobernaciones.

En el Perú se han reportado 43,880 fallecidos y 1,283,501 casos positivos, alcanzando el COVID-19 una letalidad del 3.54%, en contraste, diversos medios informaron que la calidad de aire en el área metropolitana había mejorado a partir de la

medida de aislamiento social (El Comercio, 2020; El Peruano, 2020; MINAM, 2020b, 2020a; RPP, 2020), lo cual fue evidenciado con la reducción de la concentración de PM10 (40% y 58%) y PM 2.5 (31% y 43%) (Rojas et al., 2021).

En este contexto, se realizó un análisis del impacto de la medida de aislamiento social obligatorio por COVID-19 en Lima metropolitana, observando antes, durante y después de la medida de aislamiento social obligatorio, comparando las concentraciones con los estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire (MINAM, 2017). Esto servirá de base para estudiar cómo las actividades humanas afectan a la calidad del aire y las medidas que podemos tomar frente a la contaminación atmosférica, basados en las características de las medidas de contención frente al COVID-19.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio fue Lima metropolitana. Se distribuyó en 43 distritos (figura 1), es la región más grande, extensa y poblada del país. Tiene una población de 10 628 470 de habitantes (INEI, 2020a) y es considerada como el centro político, cultural, financiero y comercial del país (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2021). Las temperaturas, en el verano, oscilan entre los 17.1°C y 20.5°C, y en el invierno entre 10.7°C y 15.4°C; la humedad atmosférica varía entre 81% y 85%, durante el año (SENAMHI 2010). El parque automotor cuenta con un aproximado de 1,982,650 de vehículos de cuatro ruedas y 130,292 de motocicletas (INEI, 2020b).

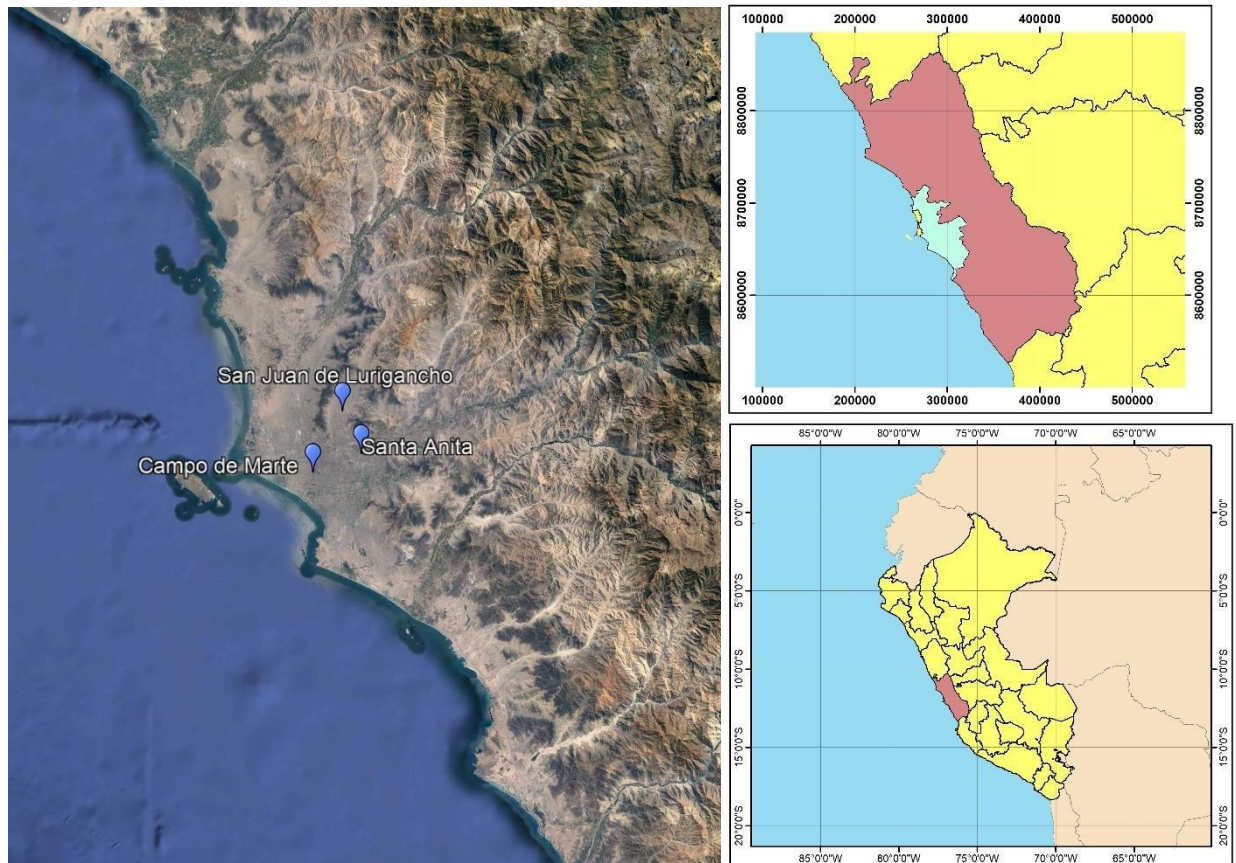


Fig.1 Mapa de ubicación del Área de Estudio y Estaciones de Monitoreo

2.1. Recolección de Datos

Para analizar las fluctuaciones de la concentración de los contaminantes en el aire, se realizó un estudio de carácter no experimental transeccional, analizando las concentraciones horarias de material particulado menor a 10 micras (PM10), material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5), Dióxido de Azufre (SO₂) y Monóxido de Carbono (CO) de los datos disponibles de libre acceso al público en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) (SENAMHI, 2021). tomadas de tres estaciones de monitoreo (**Fig. 1**): i) San Juan de Lurigancho (11°58'53.89" S;

76°59'57.29" W); ii) Campo de Marte (12°4'13.96" S; 77°2'35.57" W); y iii) Santa Anita (12°2'34.88" S; 76°58'17.2" W).

2.2 Periodo de estudio

El aislamiento social obligatorio comenzó el 16 de marzo de 2020, fue “suavizado” el 01 de mayo de 2020 y levantado el 30 de junio de 2020. En ese sentido, se decidió estudiar el cambio en las concentraciones de los contaminantes en tres etapas de estudio: “antes”, del 01 de enero de 2020 al 15 de marzo de 2020; “durante”, del 16 de marzo de 2020 al 30 de abril de 2020; y “después”, del 01 mayo de 2020 al 31 de junio de 2020. Estas etapas fueron comparadas con el mismo periodo de tiempo en el año 2019 como referencia.

2.3 Procesamiento de Datos

Se realizó un control de calidad de los datos de las diez estaciones de monitoreo que posee el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, considerando que el 75% de los datos de concentración horaria esté disponible, obviando los valores cero, negativos y nulos.

Fueron validados las estaciones de: Campo de Marte (CDM), Santa Anita (SA) y San Juan de Lurigancho (SJL) en los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO (CDM), PM₁₀ (SA) y SO₂ (SJL) fueron validados.

Los datos faltantes en cada estación fueron completados con técnicas de imputación (Broomandi et al., 2020), usando la librería MICE del software Rstudio (R Core Team, 2021).

Asimismo, se realizó el estudio de análisis estadístico descriptivo y el test no paramétrico Kruskal-Wallis, ya que los datos no siguen una distribución normal, para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de contaminantes.

3. Resultados y discusiones

La prueba de Kruskal-Wallis, realizada a cada contaminante (PM10, PM2.5, SO2 y CO), indica que existe una diferencia significativa ($p < 0.01$) entre las etapas antes, durante y después del año 2020 y 2019.

La **figura 2** muestra que en las estaciones CDM y SJL los vientos predominantes vienen del suroeste con una velocidad media de 2.27 m/s y 1.91 m/s, respectivamente.

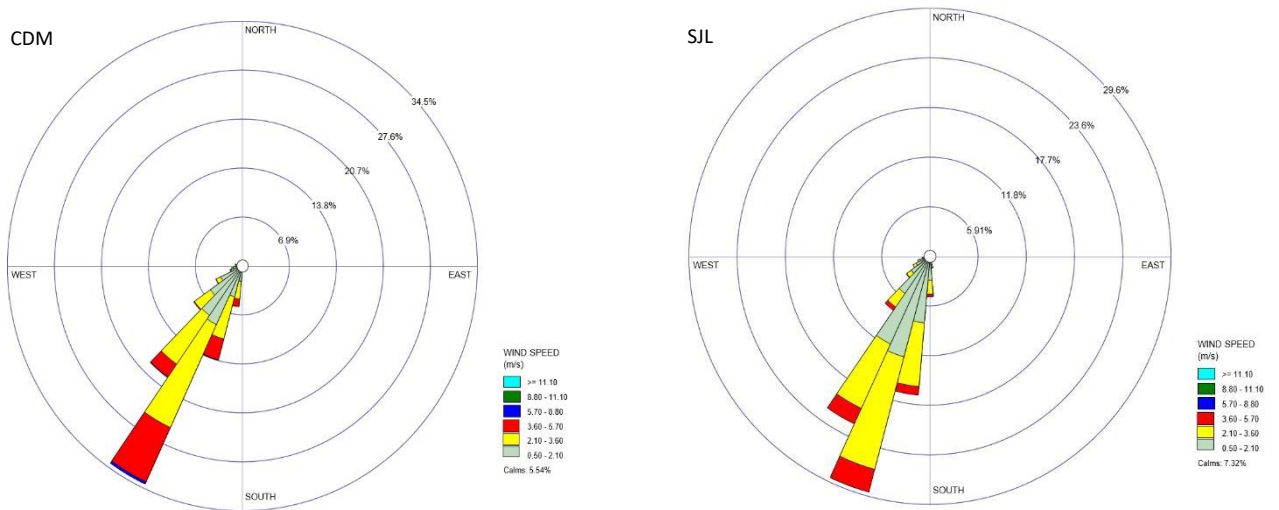


Fig.2 Rosa de vientos de las estaciones Campo de Marte (CDM) y San Juan de Lurigancho (SJL)

El **Cuadro I** muestra las concentraciones medias horarias de PM10, PM2.5 Y CO de las estaciones estudiadas, este cuadro revela la reducción de 24.79 %, en PM10; 15.44%, en PM2.5; y 95.27 % de CO, en la estación CDM; un 47.24 % de PM10, en la estación SA; y un 25.53 %, en la estación SJL en la comparación de las medias de las etapas antes vs durante del año 2020.

Se observó un aumento de 26.76 % de PM10 y de 40.32 % de PM2.5, en la estación Campo de Marte (CDM); de 18.75 % de PM10, en la estación Santa Anita (SA); y de 17.55 % de SO2, en la estación de San Juan Lurigancho (SJL); asimismo, una reducción de 22.45 % de CO, en la estación CDM, comparando las etapas durante vs después del año 2020.

En el año 2019, se observó un aumento de 34.37%, en PM10, de 42.92%, en PM2.5 y una reducción de 52.96% de CO, en la estación CDM; asimismo, de 29.85% de PM10, en la estación SA, y de 65.48% de SO2, en la estación de San Juan de Lurigancho, en la etapa antes vs durante del 2019.

Mientras que en la etapa durante vs después se observó un aumento de 45.19 %, en PM10 y de 65.32 %, en PM2.5, en la estación CDM; y de 8.34 % de SO2 en la estación SJL. Además, se observó una reducción de 6.72 % de PM10, en la estación de SA y de 35.13% de CO, en la estación CDM.

CUADRO I. VALORES PROMEDIOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS NIVELES HORARIOS DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DEL PERIODO DE AISLAMIENTO SOCIAL OBLIGATORIO Y EL PERIODO DE REFERENCIA EN LAS ESTACIONES ESTUDIADAS.

Estación/ Contaminante	ANTES (01 de Enero de 2019 al 15 de Marzo de 2019) n= 1776	Aumento/ Reduccion %	DURANTE (16 de Marzo de 2019 al 30 de Abril de 2019) n= 1104	Aumento/ Reduccion %	DESPUES (01 de Junio de 2019) n= 1464	ANTES (01 de Enero de 2020 al 15 de Marzo de 2020) n= 1800	Aumento/ Reduccion %	DURANTE (16 de Marzo de 2020 al 30 de Abril de 2020) n= 1104	Aumento/ Reduccion %	DESPUES (01 de Junio de 2020) n= 1464
Campo de Marte (CDM)										
PM10 (µg / m 3)	15.27 ±9.20	34.37	20.51 ±9.04	45.19	29.78 ±15.70	25.66 ±10.93	-24.79	19.30 ±7.07	26.76	24.46 ±9.79
PM2.5 (µg / m 3)	10.30 ±4.64	42.92	14.72 ±6.43	65.32	24.33 ±12.91	15.41 ±5.25	-15.44	13.03 ±4.39	40.32	18.29 ±7.35
CO (µg / m 3)	2548.51 ±1621.29	-52.96	1198.73 ±1286.85	-35.13	777.64 ±1908.55	1255.67 ±3052.38	-95.27	59.33 ±416.20	-22.45	46.01 ±0.48
Santa Anita (SA)										
PM10 (µg / m 3)	57.36 ±27.77	-29.85	79.48 ±34.53	-6.72	74.48 ±41.58	41.32 ±22.74	-47.24	21.80 ±7.39	18.75	25.89 ±10.42
San Juan de Lurigancho (SJL)										
SO2 (µg / m 3)	7.01 ±5.30	-65.48	10.63 ±6.42	8.34	11.60 ±5.51	2.34 ±6.10	-25.53	9.19 ±1.39	17.55	10.80 ±3.19

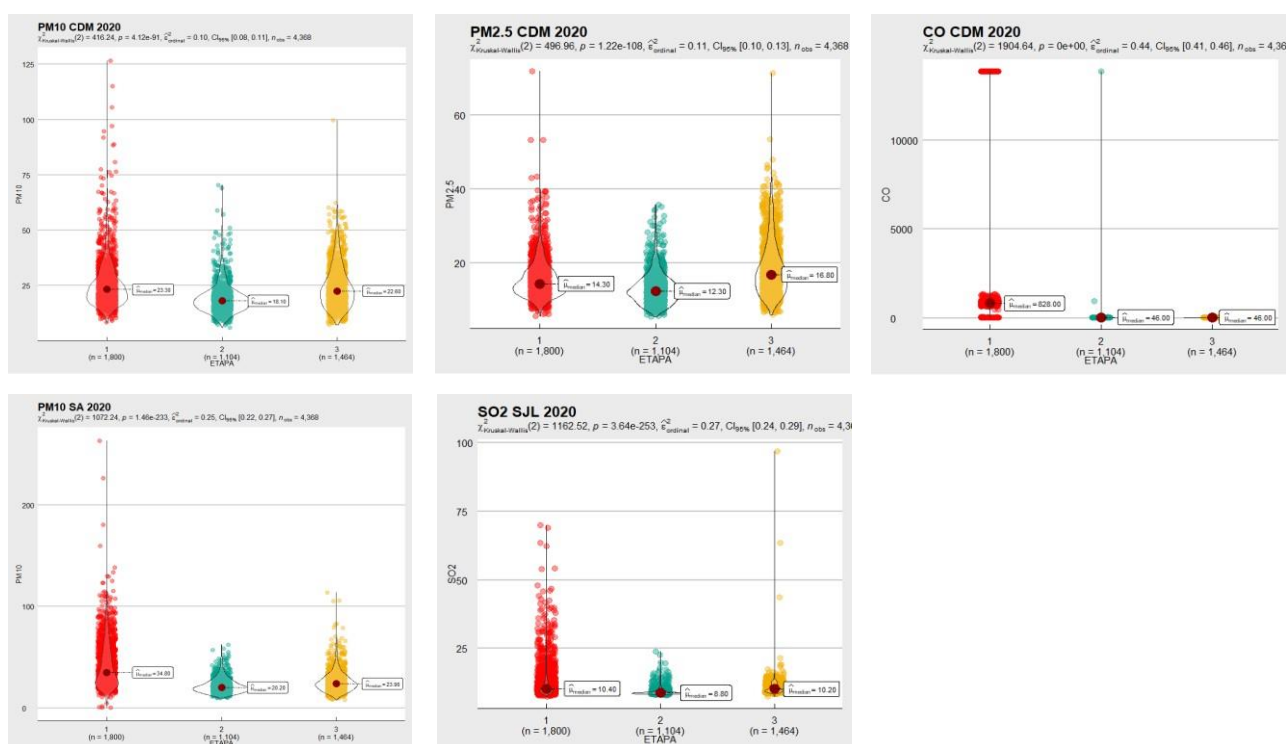


Fig. 3 Gráfico de violín, comparación de Prueba de Kruskal Wallis de los contaminantes por etapas en el 2020 (1 = Antes, 2= Durante y 3 = Después).

Comparando el periodo de estudio 2020 con el periodo de referencia año 2019 (**Cuadro II**), se observa que hubo un incremento del 68.06 %, en PM10 y de 49.68 %, en PM2.5, en la estación CDM; asimismo, de 76.11 % de SO2, en la estación SJL; asimismo, una reducción de 50.73 % de CO, en la estación CDM y 27.96 % de PM10 en la estación SA, entre las etapas antes de ambos periodos.

Entre las etapas durante de ambos años se observó una reducción de 5.93 % de PM10, 11.44 % de PM2.5 y 95.05% de CO, en la estación CDM; de 70.73 % de PM10, en la estación SA y de 20.74 % de SO2, en la estación SJL.

Se observó también la reducción de 17.87 % de PM10, de 24.83 % de PM2.5 y de 94.08 % de CO, en la estación CDM; de 67.43 % de PM10, en la estación SA; y de 1.64% de SO2, en la estación SJL, en la etapa después.

Todo esto evidencia que, respecto del año 2019, hubo reducción en la concentración de los contaminantes estudiados, durante y después de la etapa de aislamiento social obligatorio, incluso cuando en el año 2020 en la etapa antes, había más concentraciones de PM10, PM2.5, CO (CDM) y SO2 (SJL).

CUADRO II. AUMENTO Y REDUCCIÓN EN PORCENTAJES DE LOS CONTAMINANTES DEL PERIODO DE ESTUDIO (2020) VS PERIODO DE REFERENCIA (2019)

Estación/ Contaminante	ANTES (01 de Enero de 2019 al 15 de Marzo de 2019) n= 1776	Aumento/ Reduccion %	ANTES (01 de Enero de 2020 al 15 de Marzo de 2020) n= 1800	DURANTE (16 de Marzo de 2019 al 30 de Abril de 2019) n= 1104	Aumento/ Reduccion %	DURANTE (16 de Marzo de 2020 al 30 de Abril de 2020) n= 1104	DESPUES (01 Mayo 2019 al 31 de Junio de 2019	Aumento/ Reduc	DESPUES
Campo de Marte (CDM)									
PM10 (µg / m 3)	15.27 ±9.20	68.06	25.66 ±10.93	20.51 ±9.04	-5.93				
PM2.5 (µg / m 3)	10.30 ±4.64	49.68	15.41 ±5.25	14.72 ±6.43					
CO (µg / m 3)	2548.51 ±1621.29	-50.73	1255.67 ±3052.38	1198.73					
PM10 (µg / m 3)	57.36 ±27.77	-27.96							
SO2 (µg / m									

En el **Cuadro III**, se observó que el valor máximo para PM10 en la estación CDM supera el ECA, en la etapa antes; para PM2.5 al menos uno de los valores máximos supera el ECA, en la etapa después; y para CO no se apreció ningún valor que supere el ECA; para la estación de SA se pudo apreciar que al menos uno de los valores máximos supera

los ECA's para PM10, en las etapas antes y después. Asimismo, las concentraciones de SO2 en la estación SJL no supera los estándares.

Se observa que ningún valor promedio supera los ECA's. Aun cuando alguno de los valores máximos obtenidos haya superado los valores de los ECA's, solo son datos aislados como se aprecia en la **figura 3**, y no representan un promedio de 24 horas, así que no se superan los Estándares de calidad Ambiental durante el periodo de estudio.

CUADRO III. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AIRE CON LOS VALORES MÁXIMOS Y PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO.

Estándares de Calidad Ambiental para Aire					
CONTAMINANTES		PM10	PM2.5	CO	SO2
Frecuencia (Horas)		24 H	24 H	1 H	24 H
Valores (µg / m3)		100	50	30000	250
Campo de Marte					
ANTES	Promedio (µg / m3)	25.66	15.41	1255.67	x
	Max. (µg / m3)	126.7	71.9	13846	x
DURANTE	Promedio (µg / m3)	19.3	13.03	59.33	x
	Max. (µg / m3)	70.5	35.8	13846	x
DESPUES	Promedio (µg / m3)	24.46	18.29	46.01	x
	Max. (µg / m3)	99.6	71.4	64.4	x
Santa Anita					
ANTES	Promedio (µg / m3)	41.32	x	x	x
	Max. (µg / m3)	263.4	x	x	x
DURANTE	Promedio (µg / m3)	21.8	x	x	x
	Max. (µg / m3)	62.4	x	x	x
DESPUES	Promedio (µg / m3)	25.89	x	x	x
	Max. (µg / m3)	113.6	x	x	x
San Juan de Lurigancho					
ANTES	Promedio (µg / m3)	x	x	x	12.34
	Max. (µg / m3)	x	x	x	69.9
DURANTE	Promedio (µg / m3)	x	x	x	9.19
	Max. (µg / m3)	x	x	x	23.9
DESPUES	Promedio (µg / m3)	x	x	x	10.8
	Max. (µg / m3)	x	x	x	96.8

En el **Cuadro I**, se identificó un aumento de 26.76 % de concentraciones de PM10, en la estación CDM; y 18.75 %, en la estación SA, en cuanto se “suavizaron” las medidas de aislamiento social, evidenciando que el reinicio paulatino de actividades económicas hacía impacto en la calidad de aire. Esta diferencia de aumentos puede explicarse en la naturaleza de las actividades económicas que se realizan en cada distrito.

En un estudio similar realizado en Lima Metropolitana (Rojas et al., 2021), se reporta que hubo una reducción de PM10 de 24%, en la estación CDM, y de 45 % en la estación SA, comparados a las reducciones obtenidas en este estudio: PM10, 24.79 % (CDM) y 47.24 % (SA), dando una diferencia de 0.79 % para CDM y de 2.24 % para SA. Con respecto al PM2.5, en el mismo estudio se reporta una reducción de 14%, en la estación CDM, similar al 15.44% de reducción obtenido en el presente estudio, dando una diferencia de 1.44%. La diferencia de resultados se podría atribuir a que en su estudio no se trabaja con los decimales.

A pesar de que el estudio de Rojas et al. (2021) es muy completo solo se puede comparar los resultados de las mismas estaciones y solo en la etapa antes vs durante, puesto que no se toma la etapa posterior al aislamiento social obligatorio.

En otros estudios llevados a cabo en distintos lugares del mundo, analizando la etapa antes y durante de la cuarentena, se pudo observar que el PM10 mostró la reducción de 75%, en Salé City Marruecos (Otmani et al., 2020); en Corea del Sur, la reducción fue de 35.56% de PM10 (Ju et al., 2021).

Con respecto al PM2.5 se observaron reducciones de 10 al 39% de PM2.5, en Mumbai India (Kumar et al., 2020); 5.45% de PM 2.5, en Corea del Sur (Ju et al., 2021). Según IQAir (2019) se observó que India es el país con más concentraciones de PM2.5, seguido por Corea del Sur y Perú, mientras que Marruecos no figura en el ranking (IQAir, 2019), lo que indica que el porcentaje de reducción de PM2.5 no guarda relación con los niveles de contaminación previa, más bien es un indicio de que el porcentaje de reducción depende de las características de las medidas de bloqueo.

En Arabia Saudita el SO₂ se redujo en 44.16 % (Othman et al., 2020), en 29.9 % de reducción en Wuhan China (Xu et al., 2020), en Teherán, Irán, se reportó una disminución de 12.5% (Broomandi et al., 2020).

En Egipto se redujo las concentraciones de CO en aproximadamente un 5 % (Mostafa et al., 2021); en Corea del Sur se redujo en un 17,33% (Ju et al., 2021); en Delhi, India, en un 30,35% (Mahato et al., 2020); en un 64,80%, en Sao Paulo, Brasil, (Nakada & Urban, 2020). En contraste, en el presente estudio se encontró una reducción del 95.27%, siendo una de las reducciones más relevantes.

En otros estudios realizados, tomando en cuenta la etapa post cuarentena solo tenemos a Hu et al. (2021) que compara los días buenos de calidad de aire, según el Índice de Calidad de Aire (ICA) en las etapas antes, durante y después de la cuarentena. Se encontró que, en Daegu, República de Corea, en los años 2018 y 2019, se tenía del 25.9 al 27.8 % de días insalubres que se redujeron al 0% durante la cuarentena sin embargo volvió al 9.1 % posteriormente. En Wuhan China el porcentaje de días insalubres disminuyó de 52.2% al 10.5 %, durante el encierro en comparación con el 31.1 % y 36 % que se observó durante el mismo periodo de tiempo en los años 2018 y 2019, además, los días insalubres se redujeron a 0 % después que terminó la medida de bloqueo. En Tokio, en la etapa antes se tenía un 74.5% de días buenos y aumentó a un 82.5 % en la etapa durante; en Mumbai, India, se tenía que los días insalubres oscilaban entre 11.3 % y el 92.8 % pero se redujo a 0% durante las medidas de bloqueo.

No hay otros antecedentes más para la comparación de las etapas post cuarentena por lo que este estudio también servirá como referencia para futuras investigaciones.

Una de las razones a las que se le puede atribuir la reducción de contaminantes es a que la producción del país bajó durante la medida de aislamiento social en 16.83 % en marzo, 39.08 % en abril, 32.5% en mayo y 18.33 % en junio, apreciándose cómo en los meses más estrictos de cuarentena se redujo más la producción (INEI, 2021).

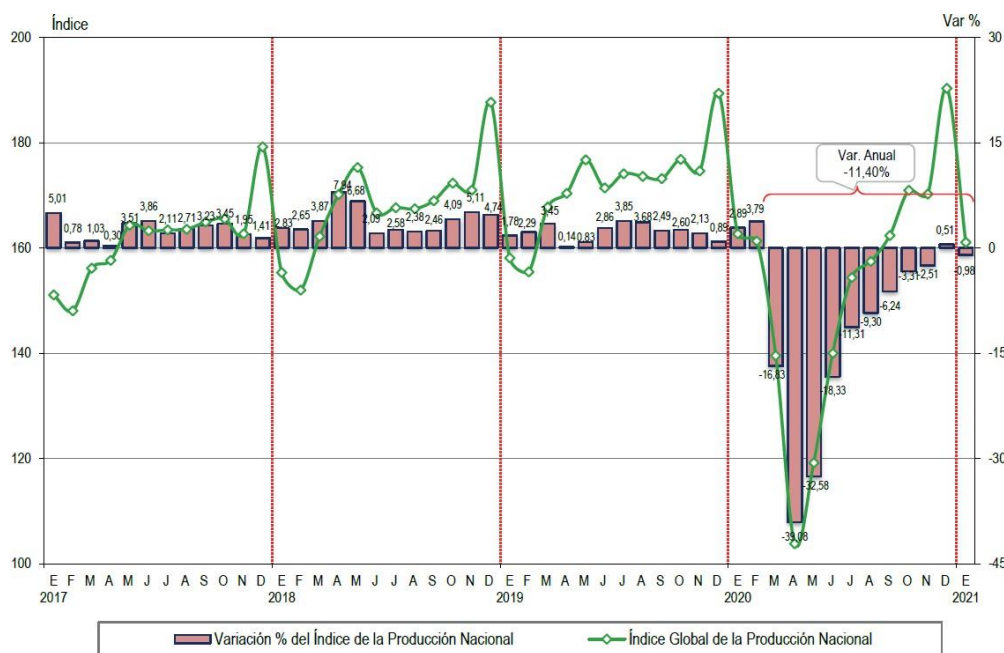


Fig. 4 Evolución mensual de la producción nacional 2017 - 2021

Además, la circulación de 1,982,650 vehículos de cuatro ruedas y 130,292 motocicletas fue limitada durante la etapa de aislamiento (INEI, 2020b); otro de los posibles impactos del aislamiento social obligatorio está en la reducción de adquisición de vehículos en Perú (**Fig. 5**), la Asociación Automotriz del Perú (AAP) indicó que la adquisición de vehículos livianos hasta el mes de junio de 2020 tuvo reducciones de 47.4 % de vehículos livianos, 57.6 % de vehículos pesados y 53.3 % de vehículos menores, con respecto al año 2019; lo que significa menos contaminantes por parque automotor en el futuro (AAP, 2020).



Fig.5 Evolución mensual de la venta de vehículos livianos y pesados a febrero 2021

4. Conclusiones

El impacto del aislamiento social obligatorio por covid-19 fue positivo, logrando ver reducciones de 24.79%, 15.44% y 95.27% en PM10, PM2.5 y CO, respectivamente, durante el periodo de aislamiento social, en la estación Campo de Marte; de 47.24 % de PM10, en la estación Santa Anita; y de 25.53 % de SO2, en la estación San Juan de Lurigancho. Así también para la etapa posterior a la medida de aislamiento se observó el incremento de las concentraciones, de 26.76% y 40.32% de PM10 y PM2.5, respectivamente, en la estación Campo de marte; de 18.75% de PM10, en la estación Santa Anita; y de 17.55 % de SO2, en la estación San Juan de Lurigancho. Menores a lo que se esperaba, teniendo en cuenta las concentraciones del año 2019 y evidenciando el impacto positivo del aislamiento social obligatorio.

Los Estándares de Calidad Ambiental no se superan durante el periodo de estudio.

En las estaciones CDM y SJL los vientos predominantes vienen del suroeste con una velocidad media de 2.27 m/s y 1.91 m/s, respectivamente.

5. Recomendaciones

Realizar estudios detallados para caracterizar la reducción de contaminantes de cada sector en Lima metropolitana (parque automotor, industrial, etc.) durante la pandemia.

Realizar comparaciones de las dos medidas de aislamiento social obligatorio (2020 y 2021).

Realizar un análisis de las muertes generadas por contaminación atmosférica según la OMS y la reducción de contaminación atmosféricas por aislamiento social por COVID-19 y hacer una comparación entre cuántas vidas se salvan debido a la reducción de contaminación atmosférica y cuántas víctimas hubieron por COVID-19; esto se puede expandir a las muertes por diversos factores como accidentes de trabajo, tránsito, etc. y mostrar si durante el periodo de aislamiento se salvaron más vidas de las que se perdieron.

5. Referencias

- AAP. (2020). *Informe del Sector Automotor*. <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/junio-2020/Informe-Junio-2020.pdf>
- Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M., & Kim, J. R. (2020). *Impact of COVID-19 Event on the Air Quality in Iran*. *20*, 1793–1804. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0205>
- El Comercio. (2020). *Coronavirus | COVID-19 | Contaminación ambiental | Lima registra la menor contaminación de aire de los últimos 3 años | TECNOLOGIA | EL COMERCIO PERÚ*. <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/coronavirus-covid-19-contaminacion-ambiental-lima-registra-la-menor-contaminacion-de-aire-de-los-ultimos-3-anos-noticia/?ref=ecr>
- El Peruano. (2020). *Calidad del aire en Lima mejora durante cuarentena por coronavirus*. <https://elperuano.pe/noticia/93983-calidad-del-aire-en-lima-mejora-durante-cuarentena-por-coronavirus>
- Hu, M., Chen, Z., Cui, H., Wang, T., Zhang, C., & Yun, K. (2021). Air pollution and critical air pollutant assessment during and after COVID-19 lockdowns: Evidence from pandemic hotspots in China, the Republic of Korea, Japan, and India. *Atmospheric Pollution Research*, *12*(2), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.11.013>
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., ... Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, *395*(10223), 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- INEI. (2020a). *Estado de la población peruana 2020*.
- INEI. (2020b). *Parque automotor en circulación a nivel nacional, según departamento*. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/prueba-11103/>
- INEI. (2021). *Informe Técnico Producción Nacional*. www.inei.gob.pe
- IQAir. (2019). World Air Quality Report. *2019 World Air Quality Report*, 1–35. <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2019-en.pdf>
- IQAir. (2020). *Covid-19 Air Quality report. April*, 1–14. https://www2.iqair.com/sites/default/files/documents/REPORT-COVID-19-Impact-on-Air-Quality-in-10-Major-Cities_V6.pdf?
- Isaifan, R. J. (2019). Global Journal of Environmental Science and Management The dramatic impact of Coronavirus outbreak on air quality: Has it saved as much as it has killed so far? *Global J. Environ. Sci. Manage*, *6*(3), 275–288. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.03.01>
- Ju, M. J., Oh, J., & Choi, Y. H. (2021). Changes in air pollution levels after COVID-19

outbreak in Korea. *Science of the Total Environment*, 750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141521>

- Kumar, P., Hama, S., Omidvarborna, H., Sharma, A., Sahani, J., Abhijith, K. V., Debele, S. E., Zavala-Reyes, J. C., Barwise, Y., & Tiwari, A. (2020). Temporary reduction in fine particulate matter due to ‘anthropogenic emissions switch-off’ during COVID-19 lockdown in Indian cities.’ *Sustainable Cities and Society*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102382>
- Mahato, S., Pal, S., & Ghosh, K. G. (2020). Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Science of the Total Environment*, 730, 139086. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139086>
- Menut, L., Bessagnet, B., Siour, G., Mailler, S., Pennel, R., & Cholakian, A. (2020). Impact of lockdown measures to combat Covid-19 on air quality over western Europe. *Science of the Total Environment*, 741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140426>
- MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias, (2017).
- MINAM. (2020a). *Calidad de aire en Lima durante cuarentena alcanzó niveles que recomienda Organización Mundial de Salud | Gobierno del Perú*. <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). *Calidad de aire en Lima mejoró notablemente durante primeros días de cuarentena | Gobierno del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/109560-calidad-de-aire-en-lima-mejoro-notablemente-durante-primeros-dias-de-cuarentena>
- Mostafa, M. K., Gamal, G., & Wafiq, A. (2021). The impact of COVID 19 on air pollution levels and other environmental indicators - A case study of Egypt. *Journal of Environmental Management*, 277, 111496. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111496>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2021). *Lima*. <https://www.munlima.gob.pe/empresas-municipales-y-opd-s/item/32542-lima>
- Nakada, L. Y. K., & Urban, R. C. (2020). COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. *Science of the Total Environment*, 730, 139087. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139087>
- OMS. (2019). *Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report-51*. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf?sfvrsn=1ba62e57_10
- OMS. (2020). *Intervención del Director General de la OMS en la conferencia de prensa sobre el 2019-nCoV del 11 de febrero de 2020*. <https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>

- Othman, M., Bala Alhassan, A., & Albeladi, M. N. (2020). Impact of Novel coronavirus disease (COVID-19) lockdown on ambient air quality of Saudi Arabia: A case study of nine cities. *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.065>
- Otmani, A., Benchrif, A., Tahri, M., Bounakhla, M., Chakir, E. M., El Bouch, M., & Krombi, M. (2020). Impact of Covid-19 lockdown on PM10, SO2 and NO2 concentrations in Salé City (Morocco). *Science of the Total Environment*, 735, 139541. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139541>
- Rojas, J. P., Urdanivia, F. R., Garay, R. A., García, A. J., Enciso, C., Medina, E. A., Toro, R. A., Manzano, C., & Leiva-Guzmán, M. A. (2021). Effects of COVID-19 pandemic control measures on air pollution in Lima metropolitan area, Peru in South America. *Air Quality, Atmosphere, & Health*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-00990-3>
- RPP. (2020). *Coronavirus | COVID-19 | El nivel de dióxido de nitrógeno en la atmósfera cayó durante la cuarentena [VIDEO] | RPP Noticias*. <https://rpp.pe/mundo/medio-ambiente/coronavirus-covid-19-el-nivel-de-dioxido-de-nitrogeno-en-la-atmosfera-cayo-durante-a-la-cuarentena-video-noticia-1260316>
- SENAMHI. (2021). *Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=calidad-del-aire>
- Xu, K., Cui, K., Young, L.-H., Hsieh, Y.-K., Wang, Y.-F., Zhang, J., & Wan, S. (2020). *Special Issue on COVID-19 Aerosol Drivers, Impacts and Mitigation (I) Aerosol and Air Quality Research*. 20, 915–929. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.04.0150>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.