Brotes Científicos
REVISTA DE INVESTIGACIONES ESCOLARES

Vol. 8, n.°1 | Págs. 20-35 (2026)
ISSN 0719-8558

Pandemia
Ciencias naturales y exactas

Exploración matemática. Densidad demográfica y su influencia en los contagios por COVID-19

Mathematical exploration. Population density and its influence on COVID-19 infections

Artículo de investigación
Research Article

Editor de área
Dr. Manuel Ignacio Azócar

Artículo recibido: 29 de agosto de 2025
Artículo aceptado: 7 de mayo de 2026
Artículo publicado: 30 de octubre de 2026

Cómo citar
Huepe, S. (2026). Exploración matemática. Densidad demográfica y su influencia en los contagios por COVID-19. *Brotes Científicos, Revista de Investigaciones Escolares, 8*, 20-35.
DOI: https://doi.org/10.35588/bc.v8.68

Estudiante
Sebastián Andrés Huepe Bravo
Curso
IV medio
Colegio
The British School de Punta Arenas
Profesora guía
Gabriela Román Amarales
gabriela.roman@britishschool.cl

CC BY

Resumen

El interés por este tema surge como consecuencia del impacto que la pandemia de COVID-19 tuvo en la población. A pesar de la implementación de medidas de prevención, el número de contagios continuó en aumento. La pandemia alteró la rutina diaria, limitó las interacciones familiares y sociales, además de generar nuevos desafíos en los ámbitos académico, laboral y social. Esta situación propició el surgimiento de interrogantes sobre el comportamiento del virus, los cuales resultaron difíciles de responder debido a la novedad del fenómeno y a la creciente circulación de información imprecisa.

En este contexto, y en busca de explicaciones fundamentadas, se identificó la densidad demográfica como un factor potencialmente influyente en la propagación del virus. Su análisis en estudios estadísticos permite ofrecer posibles explicaciones sobre los mecanismos que contribuyeron a la rápida masificación del COVID-19.

Palabras clave: **COVID-19, pandemia, densidad demográfica, contagios.**

Brotes Científicos
REVISTA DE INVESTIGACIONES ESCOLARES

Abstract

The interest in this topic stems from the impact the COVID-19 pandemic had on the population. Despite the implementation of preventive measures, the number of infections continued to rise. The pandemic disrupted daily routines and limited family and social interactions, while also creating new challenges in academic, professional, and social spheres. This situation gave rise to questions regarding the virus's behavior—questions that proved difficult to answer due to the novelty of the event and the increasing spread of inaccurate information. Against this backdrop, and in search of evidence-based explanations, population density was identified as a factor potentially influencing the virus's spread. Statistical analysis of this factor offers possible explanations regarding the mechanisms that contributed to the rapid, widespread transmission of COVID-19.

Keywords: **COVID-19, pandemic, population density, infections.**

CC BY

Introducción

La pandemia de COVID-19, causada por el virus SARS-CoV-2, comenzó en diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China. La enfermedad se propagó rápidamente por todo el mundo, lo que llevó a la Organización Mundial de la Salud (OMS) a declarar una emergencia de salud pública de importancia internacional el 30 de enero de 2020 y a clasificarla como pandemia el 11 de marzo de 2020.

Según el Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile en 2020, hubo una gran variedad de países que tomaron medidas drásticas para frenar la propagación del virus, desde cuarentenas estrictas y confinamientos masivos hasta el cierre de fronteras, suspensión de actividades económicas y educativas, y limitaciones a la movilidad. La estrategia de confinamiento fue efectiva para reducir la transmisión inicial, pero tuvo un impacto devastador en la economía global y la vida social. Fernando Villanueva, licenciado en Ciencias Económicas por la Universidad de Santiago de Chile y magíster en Análisis Económico de la Universidad de Chile, afirma en un artículo escrito en 2021 que la pandemia generó una gran repercusión económica, pues cerraron varias empresas, hubo pérdida masiva de empleos, reducción del comercio y fuertes recesiones en varios países. La pandemia también desató crisis sociales, aumentando la desigualdad, la pobreza, y exponiendo las vulnerabilidades de muchos sistemas de protección social.

En cuanto a las medidas de prevención para reducir la propagación del COVID-19, impuestas por los gobiernos en medio de la pandemia, varios de ellos optaron por forzar el distanciamiento social, el uso de mascarillas, la cuarentena y el confinamiento. En relación con la idea planteada anteriormente, la eficacia de estas medidas puede variar según el espacio disponible habitable, relacionándose con la densidad demográfica, ya que en áreas bastante pobladas puede ser más difícil cumplir con las restricciones. Según ACNUR (2020), "Para las poblaciones desplazadas, la posibilidad de cumplir esta práctica depende en gran medida de la densidad de sus condiciones de vida, ya sea en campamentos, asentamientos temporales o centros urbanos". Independientemente de la densidad demográfica, la capacidad de los sistemas de salud y las políticas gubernamentales de distintos países juegan un rol crucial en la propagación de un virus.

La frecuencia acumulada de contagios por COVID-19, se refiere al total de casos registrados en cierto periodo de tiempo, en este caso siendo de mes a mes. Este dato es crucial para evaluar la evolución de la pandemia y la efectividad de las medidas establecidas por los distintos gobiernos. Por otro lado, la rapidez de contagio apunta a la tasa de aumento de casos en un periodo específico, lo que puede ser calculado a partir de la pendiente de la recta de tendencia en un gráfico temporal de contagios acumulados.

Los gráficos de rapidez de contagio versus densidad demográfica ayudarán a visualizar esta relación y a identificar patrones que podrían ser útiles para futuras políticas de salud pública. Sin embargo, es fundamental abordar el análisis con una perspectiva multidimensional, que considere no solo la densidad poblacional, sino también las capacidades institucionales y los recursos disponibles en cada país.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

En función de lo anterior, esta investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es la relación entre la densidad demográfica y la rapidez de propagación del COVID-19 en distintas capitales del mundo? Para ello, se propone como objetivo determinar si existe un modelo matemático que relacione la densidad poblacional con la rapidez de contagio, mediante el uso de herramientas estadísticas (p. ej., regresión lineal). Se plantea como hipótesis que las ciudades con mayor densidad demográfica presentarán mayores tasas de propagación del virus. Se espera que, a medida que se incremente la densidad poblacional, también lo haga la tasa de regresión lineal de contagios.

Marco teórico

Según la ONU (2017), la densidad poblacional describe el número de personas en un área determinada y por lo general se expresa como el número de personas por hectárea (p/ha) o unidades de vivienda por hectárea. En el caso de esta investigación, la densidad poblacional será expresada como habitantes por kilómetro cuadrado. Kignsley Davis (1973), demógrafo y sociólogo estadounidense, señaló en relación con la distribución poblacional: "Considerado como una rama de la sociología, el estudio de la población constituye algo propio." Este concepto es fundamental, pues permite analizar la distribución de la población en un territorio y cómo es que esta afecta a diversos fenómenos sociales y económicos.

En esta investigación nos centraremos en la repercusión sanitaria asociada. A pesar de que la ONU afirmó en 2021 que no es un factor tan influyente, "La evidencia sugiere que la densidad de las ciudades no fue el factor decisivo en el aumento de las tasas de infección o mortalidad por COVID-19.", no se puede rechazar que esta variable pueda tener cierto peso en el aumento de los contagios por COVID-19.

Resulta razonable suponer que contextos con mayor concentración de personas por unidad habitacional presenten condiciones más favorables para la propagación del virus, en comparación con hogares de menor tamaño. Es necesario identificar una tendencia en los datos, para ver si, al aumentar la densidad poblacional, también aumenta la tasa de contagio. En áreas con alta densidad poblacional, el contacto entre personas es más frecuente, lo que puede desarrollar la propagación de patógenos.

Densidad poblacional

Para medir este parámetro se ordenan los datos de la siguiente manera:

$$Densidad\ poblacional = \frac{Población\ total}{Superficie\ territorial\ (km^2)}$$

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística que indica el grado y la dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Su valor se denota con la letra "*r*" y siempre está en un rango de -1 a 1. (Ortega, 2023)

Cómo interpretar "*r*"

Los datos se pueden distribuir dentro de los siguientes parámetros:

Si $r = 1$: Correlación lineal positiva perfecta.

Si $r = -1$: Correlación lineal negativa perfecta.

Si $r = 0$: No existe correlación lineal entre las variables.

Cuanto más cercano esté a 1 o -1, más fuerte es la relación lineal entre las dos variables.

El cálculo es el siguiente:

$$r = \frac{\sum(x - \underline{x})\left(y - \underline{y}\right)}{\sqrt{\sum(x - \underline{x})^2(y - \underline{y})^2}}$$

Ejemplo: Si se obtiene un valor de $r = 0{,}85$, esto indica una relación lineal positiva fuerte, si $r = -0{,}3$, la relación es débil y negativa.

CC BY

En el caso de este trabajo "*r*" representa el coeficiente de corelación entre tiempo (meses) y casos acumulados.

Metodología

Con el fin de analizar la influencia de la densidad demográfica en la propagación del COVID-19, se diseñó una estrategia metodológica organizada y sistemática. Se cumplió con lo siguiente:

1. Enfoque y diseño de investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de carácter comparativo y exploratorio. Cumple con el propósito de identificar posibles asociaciones estadísticas entre variables demográficas y epidemiológicas durante un periodo específico de la pandemia. El análisis se concentró en el segundo semestre de 2021 (julio-diciembre), periodo seleccionado por corresponder a una etapa en que:

- La mayoría de los países ya había implementado medidas sanitarias formales.
- Existían registros concretos de contagios acumulados.
- Se observaban diferencias claras en políticas de control epidemiológico.

La unidad de análisis fue la densidad poblacional de las capitales de cada país seleccionado, con el fin de reducir la distorsión que puede producir el uso de densidades promedio nacionales en territorios extensos y heterogéneos.

2. Criterios de selección de muestra

Se seleccionaron diez capitales bajo los siguientes criterios:

1. Diversidad significativa en densidad demográfica (rango aproximado entre 900 y 15.850 hab · km^2)
2. Diferencias en la percepción internacional sobre la gestión de la pandemia. Por ejemplo, según el Índice de Eficacia en la Gestión de la Pandemia (IEGP) el país con mejor respuesta frente a la pandemia fue Corea del Sur, por lo tanto, independientemente de la densidad demográfica de su capital, debiera tener una mínima cantidad de contagios en proporción a su población. En el otro extremo, México cuenta con el peor porcentaje de efectividad hasta principios de 2021, por lo que comparar las capitales de estos países, el dato "densidad demográfica" debiera adquirir protagonismo (BBC, 2020).
3. Disponibilidad de datos oficiales mensuales de contagios acumulados.
4. Representatividad geográfica diversa.

Los datos fueron obtenidos de bases oficiales como Our World In Data, ministerios de salud nacionales y bases estadísticas gubernamentales.

Las ciudades seleccionadas fueron:

1. Wellington
2. Reikiavik
3. Bruselas
4. Copenhague
5. Praga
6. Lima
7. Oslo
8. Ciudad de México
9. Buenos Aires
10. Seúl

La muestra se dividió en dos grupos conceptuales:

- Capitales pertenecientes a países con medidas sanitarias consideradas eficaces.
- Capitales pertenecientes a países con medidas sanitarias consideradas poco eficaces.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

Es importante señalar que esta clasificación no pretende emitir juicios categóricos, sino establecer una variable contextual cualitativa que permita comparar comportamientos epidemiológicos bajo distintos marcos normativos regulatorios. Es importante destacar que esta clasificación no resulta ser el eje de la investigación, sino que se convierte en un criterio de diversificación contextual para aumentar la heterogeneidad de la muestra.

Dado el tamaño reducido de la muestra inicial (n = 10), se incorporó un análisis ampliado con diez capitales seleccionadas bajo criterios de disponibilidad de datos y variabilidad en densidad demográfica, con el objetivo de evaluar si la tendencia observada se mantenía a mayor escala.

Variable independiente: densidad demográfica

Definida como el número de habitantes por kilómetro cuadrado en cada capital. Unidad de medida:

$$hab \cdot km^2$$

Variable dependiente: rapidez promedio de contagio

Se definió como la pendiente de la recta de regresión lineal obtenida al modelar los casos acumulados en función del tiempo.

Para determinar la rapidez de contagio del COVID-19, se utilizó un modelo de regresión lineal de la forma:

$$y=mx+b$$

Donde:

y representa el número de contagios acumulados.

m corresponde a la pendiente de la recta, la cual representa la rapidez promedio de contagio.

x representa el tiempo medido en meses.

b corresponde al valor inicial de contagios acumulados.

Desarrollo y análisis

Tabla 1

Densidad poblacional por cada ciudad seleccionada. *(Capitales de países con prevenciones eficaces e ineficaces frente al virus tras la imposición de diversas medidas para contrarrestarlo, como el distanciamiento social, el uso de mascarillas, etc.)*

N	Ciudad	Densidad Poblacional ($hab \cdot km^2$)
1	Wellington	900
2	Reikiavik	1100
3	Bruselas	2291
4	Copenhague	2560
5	Praga	2817
6	Lima	3879
7	Oslo	4027
8	Ciudad de México	6163
9	Buenos Aires	15000
10	Seúl	15850

La tabla 1 retrata cuántas personas habitan en cada ciudad por cada km^2, información indispensable para el desarrollo de la investigación. Se eligieron capitales de países con densidad poblacional distinta, que van desde los 900 habitantes por kilómetro cuadrado hasta los 15.850 habitantes por kilómetro cuadrado. Las ciudades en azul corresponden a las naciones que según la organización *MAPFRE* en 2022, gestionaron de la mejor forma la crisis global, mientras que las rotuladas en rojo corresponden a países que peor enfrentaron la pandemia.

CC BY

Tablas de frecuencia acumulada cantidad de contagios de COVID-19 desde julio a diciembre de 2021

Para poder identificar la rapidez de contagios en una ciudad determinada, se necesita trabajar con variables cuantitativas, por lo que cada mes será identificado en tablas y gráficos con un número, siendo julio el 1, agosto el 2, y así sucesivamente hasta llegar a diciembre que es el 6.

Tabla 2

Frecuencia de contagio acumulado mensual para capitales de países con medidas efectivas.

	Densidad poblacional de cada ciudad ($hab \cdot km^2$)	1) 900	2) 1100	4) 2560	7) 4027	10) 15850
Mes	1	0	1708	5801	1474	14503
	2	16	2295	10865	8227	29694
	3	17	2908	13315	17638	51069
	4	17	3410	19659	22759	69897
	5	17	3989	37970	36587	106131
	6	18	4620	91930	65485	176251

Incluso en la tabla de las ciudades que tomaron las mejores medidas para enfrentar la pandemia del COVID-19, se observan diferencias significativas en la cantidad de contagios de cada ciudad, presentando un crecimiento sostenido en el periodo analizado. Ciudades con alta densidad poblacional, como Seúl (15.850 $hab \cdot km^2$), Oslo (4.027 $hab \cdot km^2$) o Copenhague (2.560 $hab \cdot km^2$) tienden a tener cifras más altas de contagios; mientras que la capital con mayor cantidad de contagios amplifica por 12,2 su valor inicial, la ciudad con la estadística menor solo llega a los 18 casos totales en este periodo. Los países que se encuentran entre medio aumentaron desde 2,7 hasta 15,9 veces su valor inicial.

Tabla 3

Frecuencia de contagio acumulado mensual para capitales de países con medidas inefectivas

	Densidad poblacional de cada ciudad ($hab \cdot km^2$)	3) 2291	5) 2817	6) 3879	8) 6163	10) 15000
Mes	1	6627	2057	2223	100603	26508
	2	25998	3699	4064	209056	41408
	3	38308	6512	6311	261992	46635
	4	54132	18311	8429	286359	51355
	5	89184	68909	11943	299537	58531
	6	122838	102697	26415	318314	128331

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

Gráfico 1

Frecuencia acumulada de contagios en Lima (3879 hab · km²)



En este caso, la densidad poblacional de estas ciudades no parece ser un factor determinante respecto a los contagios totales, pues capitales como Bruselas (2.291 *hab · km²*) o Praga (2.817 *hab · km²*) cuentan con una cifra de contagios alta a pesar de ser las ciudades con menor densidad demográfica en la tabla. Sin embargo, las capitales con mayor tasa de contagios totales son Ciudad de México (6.163 *hab · km²*) que triplicó su valor inicial, y Buenos Aires (15.000 *hab · km²*) que quintuplicó los contagios de julio.

Se realizó un gráfico de dispersión de la cantidad de contagios por cada mes de todas las ciudades sujetas a análisis en la exploración, aunque se revisará solamente el de Lima, con el fin de explicar aquello que se va a analizar. Se trabajará con la frecuencia acumulada de contagios.

En Lima hay una tendencia progresiva en cuanto al aumento de contagios en el segundo semestre de 2021. Al obtener el índice de correlación de Pearson (0,894) —calculando la raíz de R^2— es posible determinar que los datos siguen una correlación lineal fuerte positiva. La pendiente del conjunto de datos es el valor que está junto a la x, en este caso 4191. Este representa la tasa de contagio mensual promedio, es decir, la cantidad de contagios aumenta en ~4191 personas cada mes.

El análisis de los datos muestra que no todas las ciudades presentan una tendencia lineal de contagio. Al medir el comportamiento de manera lineal, se observa que no todos se ajustan a esta tendencia. En el caso de algunas ciudades, es claro que al comienzo del segundo semestre de 2021 los contagios eran bajos y en los últimos meses, la estadística se disparó, por lo que la medida podría no ser muy representativa; sin embargo, sigue siendo una buena forma para expresar la relación de los contagios totales con la densidad poblacional respectiva de cada ciudad.

Entender el dato de la correlación entre el tiempo transcurrido y casos acumulados servirá para adelantar el uso que tendrá al momento de verificar si hay correlación entre la densidad demográfica de estas ciudades y su progresión en contagios. En este caso, todas las ciudades tienen una correlación lineal positiva relativamente fuerte entre los contagios y el transcurso del tiempo (meses).

CC BY

Tabla 4

Densidad poblacional y rapidez promedio de contagios por cada país con medidas contra el COVID-19 ineficaces.

Ciudad	Densidad Poblacional ($hab \cdot km^2$)	Tasa lineal de contagio* ($contagios \cdot mes^{-1}$)	Correlación entre Tiempo y Casos acumulados (r)
Bruselas	2291	22470	0.98
Praga	2817	20304	0.90
Lima	3879	4192	0.95
Ciudad de México	6163	39554	0.92
Buenos Aires	15000	16150	0.85

***** La tasa corresponde a la pendiente de la recta de regresión de los casos acumulados en función del tiempo (jul–dic 2021).

Los datos presentados sugieren que una mayor densidad demográfica no se asocia necesariamente con tasas más altas de contagio mensual en todos los casos analizados. Como ocurre con Buenos Aires (15.000 $hab \cdot km^2$), que cuenta con ~12.709 personas por kilómetro cuadrado más que Bruselas (2.291 $hab \cdot km^2$), esta última cuenta con una mayor tasa lineal de contagio que la primera. Al mismo tiempo, la densidad demográfica de Ciudad de México (6.163 $hab \cdot km^2$) es bastante menor a la de Buenos Aires; sin embargo, cuenta con el doble en cuanto a tasa lineal de contagios y contagios totales.

Tabla 5

Densidad poblacional y rapidez promedio de contagios por cada país con medidas contra el COVID-19 efectivas.

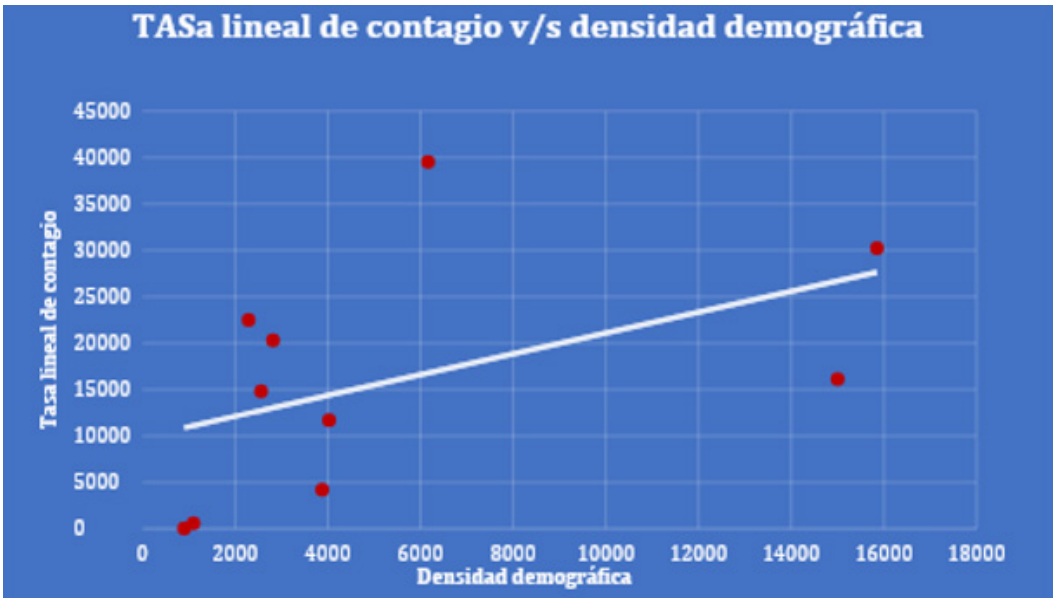
Ciudad	Densidad Poblacional ($hab \cdot km^2$)	Tasa lineal de contagio ($contagios \cdot mes^{-1}$)	Correlación entre Tiempo y Casos acumulados (r)
Wellington	900	3	0.71
Reikiavik	1100	576	1.00
Copenhague	2560	14809	0.86
Oslo	4027	11722	0.95
Seúl	15850	30197	0.95

Por otro lado, la **tabla N°5** sustenta que la densidad demográfica podría ser un factor importante a la hora de evaluar la tasa lineal de contagio. Tanto Wellington (900 $hab \cdot km^2$) como Reikiavik (1.100 $hab \cdot km^2$) son los que tienen menor densidad demográfica y tasa lineal de contagio, mientras que Seúl (15.850 $hab \cdot km^2$) cuenta con la mayor densidad poblacional y tasa lineal de contagio. No obstante, la excepción a la regla serían Copenhague (2.560 $hab \cdot km^2$) y Oslo (4.027 $hab \cdot km^2$), dado que aún con una menor densidad poblacional —cerca de la mitad— la ciudad danesa supera en contagios mensuales a la urbe noruega.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

Gráfico 2

Relación entre Tasa lineal de contagios y densidad poblacional de cada ciudad.



Al revisar los resultados del gráfico, es posible notar que los datos presentan tendencia general positiva; sin embargo, arrojan una dispersión considerable entre ciudades con densidades similares.

Por ejemplo:

- Bruselas, con una densidad poblacional de 2.291 $hab \cdot km^2$, tiene una tasa de contagio de 22.470; Praga, con una densidad de 2.817 $hab \cdot km^2$, tiene una tasa de contagio de 20.304. Por otra parte, Buenos Aires, con 15.000 $hab \cdot km^2$, tiene una tasa de 16.150. En este caso, Bruselas y Praga, con densidades mucho menores que Buenos Aires, presentan tasas de contagio superiores.

Esto sugiere que la densidad demográfica no determina completamente la rapidez de contagio.

La relación entre las variables se comporta de manera lineal con la siguiente función:

$$v(d) = 1{,}1219d + 9873{,}1$$

Siendo:

$v(d)$, tasa de contagio

d, densidad ($hab \cdot km^2$)

La forma de distribución no sugiere un crecimiento lineal, sino que más bien polinómico. El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,48, lo que indica que los datos presentan una correlación positiva moderada entre la densidad demográfica y la tasa lineal de contagio. La ecuación de la curva polinómica es la siguiente:

$$v(d) = -0{,}0004d^2 + 7{,}5985d - 4306{,}8$$

Se incorporaron 14 capitales adicionales seleccionadas aleatoriamente dentro de tres rangos de densidad demográfica (baja, media, alta) con el objetivo de llegar a conclusiones concretas.

Tabla 6

14 ciudades adicionales y datos correspondientes: densidad demográfica, tasa lineal de contagio, R^2 y casos totales.

Ciudad	Casos totales	Densidad poblacional (*hab · km²*)	Tasa lineal de contagio (*contagios · mes⁻¹*)	R^2
Canberra	3886	183	727	0,91
Ottawa	221506	365	35825	0,74
Santiago	103071	528	17360	0,97
Brasilia	89350	530	14564	0,90
Roma	159309	807	25460	0,81
Madrid	455592	841	55429	0,66
Washington D.C.	47442	3895	7681	0,78
Bogotá	201755	4362	11169	0,93
Londres	1169819	5713	178174	0,81
Tokio	208295	6364	26352	0,58
Bangkok	372462	6718	54954	0,87
Yakarta	321835	15906	8488	0,69
París	223708	20459	33443	0,67

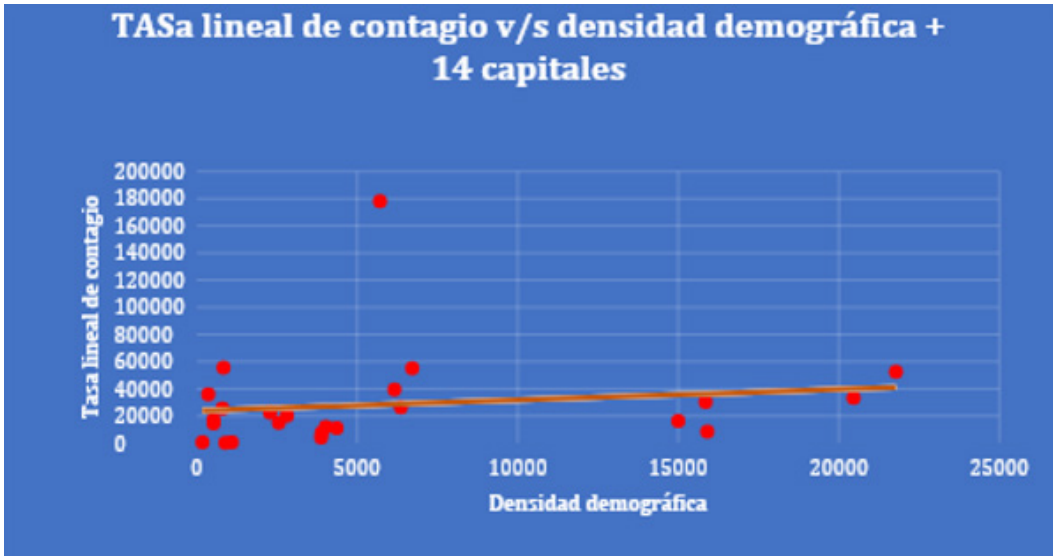
En este apartado específico, los contagios y la densidad demográfica se calcularon usando unidades administrativas institucionales oficiales variadas, como consecuencia de la falta de información específica. Se utilizaron distritos, provincias, departamentos o regiones metropolitanas, según la organización territorial de cada país. Estas unidades no corresponden necesariamente al municipio urbano central, sino que pueden incluir áreas suburbanas o periféricas, lo que puede generar ligeras variaciones en la densidad promedio observada.

Sin embargo, esta diferencia no afecta a la validez del análisis, ya que los datos de contagio, población y superficie corresponden a la misma unidad territorial. Esto garantiza consistencia entre el número de casos y población considerada, permitiendo que los indicadores reflejen adecuadamente la carga epidemiológica correspondiente.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

Gráfico 3

Relación entre Tasa lineal de contagios y densidad poblacional de las 24 ciudades.



En este caso, se mantiene la tendencia general positiva, aunque ciudades con densidades similares, no siempre presentan una tasa lineal de contagio semejante. Por ejemplo:

- Densidad baja: Canberra con 183 *hab · km²*, tiene una tasa de contagio de 726, mientras que Ottawa con 365 *hab · km²*, presenta 35825 contagios por mes.

- Densidad media: Roma con 807 *hab · km²*, cuenta con 25459 contagios aproximados por mes, mientras que Madrid con 841 *hab · km²*, tiene 55429 contagios cada mes.

- Densidad alta: Londres con 5713 *hab · km²*, tiene 178173 contagios aproximados por mes, y Yakarta con el triple de densidad demográfica (15906 *hab · km²*), posee ~8488 contagios mensualmente.

Se observan casos de ciudades con bajas densidades demográficas que presentan tasas de contagios mucho mayores a las de ciudades con altas densidades poblacionales. Estos datos presentan una dispersión aún mayor que los mostrados en el gráfico anterior.

Nuevamente la polinómica arroja resultados de correlación más altos que la recta lineal, sin llegar a ser significativos, con un coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0,23 frente a 0,15 de la recta lineal, resultado que indica que la correlación de los datos es realmente muy baja.

La ecuación polinómica es la siguiente:

$$v(d) = -0{,}0002d^2 + 4{,}425d + 16086$$

Discusión de resultados

El análisis realizado permite evaluar el alcance del modelo matemático utilizado, basado en la pendiente de regresión lineal de los contagios acumulados en función del tiempo. Este procedimiento permitió transformar un fenómeno epidemiológico en una variable cuantificable, facilitando su comparación mediante una métrica común.

Los **gráficos 2** y **3** permiten observar que existe relación positiva, aunque con alta variabilidad entre la densidad demográfica y la rapidez promedio de contagio del COVID-19. En términos generales, la pendiente positiva refleja que las ciudades con mayor densidad poblacional suelen presentar tasas de contagio

CC BY

superiores a las ciudades de menor densidad. Esto es consistente con la idea de que una mayor concentración de individuos implica una mayor probabilidad de interacción entre ellos, lo que facilita la propagación de enfermedades infecciosas.

Sin embargo, los resultados también muestran que esta relación no es completamente uniforme. Como se observa en las **tablas 4, 5 y 6**, se observan grandes diferencias en cuanto a tasas lineales de contagio entre ciudades con densidades similares, lo que indica que la densidad demográfica no permite explicar completamente la variabilidad en la rapidez de contagio. Por ejemplo, en la **tabla 4,** Bruselas presenta una tasa de contagio superior a Buenos Aires a pesar de tener una densidad considerablemente menor, lo que refuerza la existencia de una dispersión significativa en los datos. No obstante, al analizar el grado de ajuste lineal, es posible identificar que algunas ciudades presentan una correlación más alta en casos acumulados en función del tiempo. Como se observa en las **tablas 4 y 5**, ciudades como Bruselas (r = 0,98), Reikiavik (r = 0,99) y Oslo (r = 0,95), muestran un fuerte ajuste al modelo lineal, lo que indica que la progresión de los contagios en estos casos puede ser descrita de manera más consistente mediante una función lineal. En contraste, ciudades con menor coeficiente de correlación presentan un comportamiento más irregular, lo que limita la representatividad del modelo.

Cabe mencionar que este comportamiento podría verse influenciado por la presencia de variables mediadoras no consideradas en el modelo. Factores como la movilidad urbana, el acceso a servicios de salud y las políticas públicas implementadas durante el periodo pueden haber incidido en la propagación del virus. Si bien estas variables no fueron incorporadas en el análisis cuantitativo, su mención permite comprender la dispersión presente en los datos.

Desde un punto de vista matemático, el uso de la pendiente de regresión lineal permitió cuantificar de manera objetiva la rapidez de contagio en cada ciudad. Este método facilitó la comparación entre diferentes ciudades y permitió establecer una relación medible entre las variables en cuestión. Sin embargo, aunque exista una asociación observable, el modelo presenta un margen de error implícito, propio de los fenómenos reales que dependen de múltiples variables que operan de manera simultánea.

La ampliación de la muestra con 14 ciudades adicionales (**tabla 6**) confirma este comportamiento. Si bien la tendencia general continúa siendo positiva (como bien se observa en los **gráficos 2 y 3**), también aumenta la dispersión entre los datos. Desde una perspectiva estadística, aumentar el número de observaciones fortalece la validez del análisis, ya que reduce la probabilidad de que la tendencia observada sea producto del azar. Esto indica que la densidad demográfica presenta cierta relación con la rapidez de propagación del virus, pero no permite predecir con total precisión.

En consecuencia, la dispersión presente en los datos sugiere que existen otros factores que influyen en la velocidad de propagación del virus. Por lo tanto, el modelo utilizado resulta acertado para identificar una tendencia general y establecer una relación cuantificable entre las variables, pero presenta limitaciones como herramienta predictiva exacta, debido a la variabilidad presente en los datos.

Conclusión

La pandemia de COVID-19 marcó una de las crisis sanitarias más importantes de la historia, impactando profundamente en las vidas de las personas a nivel global. En este contexto, la densidad demográfica se plantea como una variable potencialmente asociada a la propagación del virus. Esta investigación tuvo como objetivo principal encontrar un modelo que relacione la densidad demográfica y la rapidez de contagios por COVID-19 en distintas ciudades, utilizando herramientas matemáticas como la pendiente en una función lineal, para calcular la rapidez de propagación en cada ciudad escogida, y análisis de funciones que permitan explicar el comportamiento entre estas dos variables. Por lo tanto, a través del análisis, se buscó determinar

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

si la densidad demográfica juega un papel fundamental en la propagación del virus o solo es una variable más entre muchas.

Esta investigación permitió determinar que existe una relación entre la densidad demográfica y la rapidez de propagación del COVID-19 en las capitales analizadas, utilizando herramientas matemáticas basadas en la regresión lineal. Los resultados sugieren que la densidad demográfica podría influir en la rapidez de contagio, aunque no constituye un factor determinante por sí solo.

En consecuencia, la hipótesis planteada se cumple de manera parcial, ya que la densidad demográfica presenta una relación con la velocidad de propagación del virus, aunque no permite explicarla por sí sola.

El modelo matemático aplicado permitió cuantificar esta relación y analizar su comportamiento, demostrando la utilidad de las herramientas matemáticas para estudiar fenómenos reales complejos, y así evaluar el alcance de las variables estudiadas.

Limitaciones metodológicas

A pesar de que el modelo utilizado permitió identificar una relación entre la densidad demográfica y la rapidez de propagación del COVID-19, existen ciertas limitaciones que se deben considerar al interpretar los resultados.

En primer lugar, el modelo matemático utilizado se basa en la regresión lineal, la cual permite aproximar la rapidez de contagio mediante una tasa promedio. Sin embargo, la propagación de una enfermedad infecciosa no sigue necesariamente un comportamiento estrictamente lineal en el tiempo, lo que implica que la pendiente representa una aproximación simplificada del fenómeno.

Además, se observa una dispersión significativa en los datos, lo que explica la real participación de la densidad demográfica en el modelo. Esto sugiere la presencia de otras variables que no fueron consideradas.

Aunque se amplió el tamaño de la muestra, el número de ciudades analizadas sigue siendo limitado, lo que restringe el alcance general del modelo.

Cabe destacar que la inclusión de las catorce capitales extra no fue igual de consistente que la de las primeras diez. La falta de datos disponibles acerca de regiones específicas provocó que se consideraran territorios variables, como distritos, municipios, etc. De esta manera, se restringe la compatibilidad y consistencia de algunos datos, ya sea de los contagios por mes en una zona específica o la densidad demográfica que podría venir de censos que no correspondan precisamente al territorio tomado en cuenta.

Por lo tanto, los resultados obtenidos deben interpretarse como una aproximación matemática del fenómeno, válida para identificar tendencias generales, pero no como un modelo predictivo exacto.

El modelo matemático permitió identificar una tendencia general, pero también evidenció la complejidad del fenómeno, demostrando que la matemática constituye una herramienta fundamental para analizar fenómenos reales, aunque no siempre permite predecirlos con exactitud absoluta.

CC BY

Bibliografía

Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR). (2020, 10 de noviembre). *Escasez de espacio y recursos: Afrontar la COVID-19*. ArcGIS StoryMaps. https://storymaps.arcgis.com/stories/31eb3a39e94540e2bd71b801fe7209c3

BBC News Mundo. (2020, 24 de noviembre). *¿Qué países han gestionado mejor la pandemia?* https://www.bbc.com/mundo/noticias-55048757

Davis, K. (1973). *La sociología del comportamiento demográfico* (Serie DS N.º 13). Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE). https://hdl.handle.net/11362/8496

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (s. f.). *La ciudad: Información demográfica*. https://buenosaires.gob.ar/laciudad/ciudad

City Population. (s. f.). *Brussels population statistics*. City Population. https://www.citypopulation.de/en/belgium/agglo/A21004__bruxelles/

City Population. (s. f.). *Reykjavík population statistics*. https://www.citypopulation.de/en/iceland/reykjavik/UA0050__reykjav%C3%ADk/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s. f.). *Densidad de población*. *Cuéntame de México*. https://cuentame.inegi.org.mx/explora/poblacion/densidad/

Dirección General de Epidemiología. (s. f.). *Sala situacional COVID-19 Perú*. Gobierno del Perú. https://app7.dge.gob.pe/maps/sala_covid/

The Global Economy. (s. f.). *COVID-19 total cases: Iceland*. https://www.theglobaleconomy.com/Iceland/covid_total_cases/

Ministerio de Salud de la República Argentina. (s. f.). *COVID-19: Casos registrados en la República Argentina*. Datos Argentina. https://datos.gob.ar/dataset/salud-covid-19-casos-registrados-republica-argentina

Secretaría de Salud. (2021). *Información internacional y nacional sobre nuevo coronavirus 2021*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/salud/documentos/informacion-internacional-y-nacional-sobre-nuevo-coronavirus-2021

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (s. f.). *Población de Lima Metropolitana supera los 10 millones*. Gobierno del Perú. https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/689179

Institute for Global Environmental Strategies (IGES). (s. f.). *Seoul metropolitan government*. https://www.iges.or.jp/en/vlr/seoul-metropolitan-government

Malagón, J. C. (2022, 24 de marzo). *¿Qué países han gestionado mejor la pandemia?* MAPFRE. https://www.mapfre.com/actualidad/economia/paises-gestionan-mejor-pandemia/

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 20-35 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

Melo, F. V. (2021, 12 de noviembre). *Empleo en Chile: Antes, durante y después de la pandemia*. CIPER Chile. https://www.ciperchile.cl/2021/11/12/empleo-en-chile-antes-durante-y-despues-de-la-pandemia/

Milenio Digital. (2021, 31 de diciembre). *Mapa de COVID-19 en México: CDMX, cerca del millón de casos totales*. https://www.milenio.com/salud/coronavirus-mexico-mapa-covid-19-29-diciembre-2021

Ministerio de Salud de la República Checa. (s. f.). *COVID-19 epidemiological data: Prague*. https://onemocneni-aktualne.mzcr.cz/covid-19/kraje/PHA

New Zealand Ministry of Health. (s. f.). *NZ COVID data*. GitHub. https://github.com/minhealthnz/nz-covid-data

Norwegian Institute of Public Health. (s. f.). *COVID-19 cases in Norway*. https://allvis.fhi.no/msis/sykdomshendelser

ONU-Habitat. (s. f.). *Densidad urbana y pandemia*. https://onu-habitat.org/index.php/densidad-urbana-y-pandemia

Ortega, C. (2023, 23 de febrero). *¿Qué es el coeficiente de correlación de Pearson?* QuestionPro. https://www.questionpro.com/blog/es/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/

Our World in Data. (s. f.). *Coronavirus (COVID-19) dataset*. University of Oxford. https://ourworldindata.org/coronavirus

Sciensano. (s. f.). *COVID-19 epidemiological dashboard Belgium*. https://epidata.sciensano.be/epistat/dashboard

Seoul Open Data Plaza. (s. f.). *COVID-19 Seoul dataset*. https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-20470

Statens Serum Institut. (s. f.). *COVID-19 historical data*. https://www.ssi.dk/sygdomme-beredskab-og-forskning/sygdomsovervaagning

Statistics Norway. (s. f.). *Population statistics*. https://www.ssb.no/en/befolkning

Wikipedia contributors. (s. f.). *Copenhagen*. *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen

Wikipedia contributors. (s. f.). *Prague*. *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Prague

World Population Review. (s. f.). *Wellington population statistics*. https://worldpopulationreview.com/cities/new-zealand/wellington