

Tendencias y determinantes de los contagios y muertes asociadas al virus SARS-CoV-2 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México durante 2020

Luisa Quiahuitl Xochitl Mendoza Ramírez¹
Jorge González Gutiérrez²

Resumen

En este artículo se indaga el desenvolvimiento temporal y espacial de los contagios y las muertes asociadas a la COVID-19 en la ZMCM durante el año 2020. Se utiliza una metodología cuantitativa y como fuente de información se usan los datos provenientes de la Secretaría de Salud, así como los Censos Generales de Población y Vivienda. El texto tiene tres momentos clave: el primero busca diseñar fases homogéneas por las que ha atravesado la pandemia a partir de tres indicadores: contagios, muertes e intensidad las cuáles serán utilizadas a lo largo del documento. En el segundo momento se inicia el análisis espacial de la ZMCM a través de la *I de Morán Global y Local*, donde se utilizan como variables dependientes la tasa de mortalidad, de letalidad y de prevalencia. Finalmente, en el tercer momento se diseñan determinantes explicativos que se agrupan en variables demográficas y socioeconómicas en donde se aplica una *Regresión Geográfica Ponderada (GWR) y Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)*.

Palabras clave: ZMCM, Contagios Covid-19, determinantes demográficos y socioeconómicos, GWR, MCO.

Trends and determinants of infections and deaths associated with the SARS-CoV-2 virus in the Metropolitan Area of Mexico City in 2020

Abstract

This article investigates the temporal and spatial development of infections and deaths associated with COVID-19 in the ZMCM during 2020. A quantitative methodology is used and data from the Ministry of Health, as well as the General Population and Housing Censuses, are used as a source of information. The text has three key moments: the first seeks to design homogeneous

¹ Profesora de Asignatura Definitivo A, Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México en la licenciatura en sociología; Maestra en Demografía por El Colegio de México y Candidata a Doctora en Sociología por la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Correo: xochitlmendoza@gmail.com

² Profesor de Tiempo Completo, Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México en la licenciatura en economía; Doctor en Estudios de Población por El Colegio de México. Correo: jorgegonzalezgog@aragon.unam.mx

phases that the pandemic has gone through based on three indicators: infections, deaths and intensity, searches will be used throughout the document. In the second moment, the spatial analysis of the ZMCM begins through the *Global and Local of Morán I*, where they are used as dependent variables of the mortality, lethality and prevalence rates. Finally, in the third moment, explanatory determinants are designed that are grouped into demographic and socioeconomic variables where a *Geographical Weighted regression (GWR) and Ordinary least squares (OLS) are applied*.

Keywords: ZMCM, Covid-19 Contagions, demographic and socioeconomic determinants, GWR, MCO.

Introducción

La pandemia ha evidenciado las grandes contradicciones no sólo entre ricos y pobres sino entre familias que incluso con el mismo ingreso han incrementado su vulnerabilidad.

Ya sea por el número de integrantes del hogar, por la estructura del hogar o por las condiciones físicas de la vivienda; las desigualdades se han colocado en el terreno de los hogares y han mostrado la necesidad entender qué variables influyen y de qué manera en la forma en que los hogares son afectados por la COVID-19.

En este sentido, el objetivo de este artículo es mostrar los factores socioeconómicos y demográficos que inciden en la tendencia de contagio y muertes asociadas a COVID-19, específicamente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En este análisis utilizamos los datos abiertos generados por la Secretaría de Salud (www.coronavirus.gob.mx), los cuales ofrecen el monto de contagios y muertes registrados por las autoridades desde el inicio del brote sanitario en todos los municipios del país. Decidimos seguir con la cronología de la Semana Epidemiológica (SE) considerada por los organismos de salud en México. Restringimos nuestro análisis a las 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México, y un municipio de Hidalgo, región que conforma lo que conocemos como Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

El estudio aborda las semanas epidemiológicas de la décima que corresponde a marzo de 2020 cuando el brote se manifestaba con ferocidad en el país, hasta la semana 51, que llega hasta finales del mismo año.

De la misma manera el trabajo está dividido en apartados. El primero, hace un intento por caracterizar las semanas epidemiológicas al describir a partir de contagios, muertes e intensidad las particularidades de cada una de ellas hasta lograr el diseño de cinco fases de análisis. Estas fases son utilizadas a lo largo de todo el documento y sirven como marcadores temporales.

Una vez diseñadas las fases de análisis, se presenta la metodología junto con los modelos econométricos y espaciales que se utilizaron para mostrar las relaciones entre variables ligadas a la marginación y a la estructura por edad con la morbilidad y mortalidad por SAR-Cov2.

Estos modelos son utilizados por etapas: primero se ofrece la distribución de contagio y muerte en la ZMCM con una I de Moran Global. Posteriormente, estudiamos el patrón de agrupamiento en las demarcaciones con una I de Moran Local. Una vez con esta información se proponen algunos determinantes explicativos de los patrones de contagio y muerte agrupados en dos: demográficos y socioeconómicos.

Los determinantes se trabajaron por medio de regresiones de MCO y regresión ponderada geográficamente en donde se utilizaron un grupo de variables dependientes como son la tasa de mortalidad, de letalidad y de prevalencia para evitar resultados aberrantes. Al final se ofrecen algunas conclusiones y recomendaciones para atender a la población de la ZMCM.

Desarrollo de las fases de la pandemia

Entre la incertidumbre que puede significar el arribo de una pandemia y las medidas sanitarias apresuradas que tienen que tomar los países para salvaguardar la salud de su población; pareciera que la pandemia tiene momentos cíclicos. Momentos en que da tregua a los países y ofrece la posibilidad de manejar la planeación gubernamental y otros en que los niveles de mortalidad son tan elevados que las decisiones apresuradas son las únicas posibles.

A través de esta aparente ambivalencia que tienen los fenómenos inesperados es posible caracterizar cada una de las semanas epidemiológicas. A continuación, se presentan cinco fases de análisis en función de los contagios, número de muertes e intensidad.

Fases	Semanas	Características
<i>Fase 1 Crecimiento acelerado</i>	10 - 16	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento semanal promedio en el país de 251% • Contagios confirmados y fallecidos aumentaron rápidamente pasando de la semana 13 a la 14 de 6 a 45 fallecidos por semana, llegando hasta 746 en la semana epidemiológica 16. • Intensidad va en descenso
<i>Fase 2 Estabilidad ascendente</i>	17 - 28	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitud de los contagios y las muertes siguen en aumento.

		<ul style="list-style-type: none"> • la intensidad sigue en franco descenso, con tasas promedio de 18% cada semana. • La cantidad de muertes semanales ronda entre 2 mil y 4 mil a nivel nacional, y entre 1,300 y 1,400 en la ZMCM. • Las tasas de cambio de los contagios y fallecidos son en su mayor parte positivas.
<i>Fase 3 Estabilidad</i>	29 - 37	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo de fallecidos por Covid-19 alrededor de la semana 30 a nivel nacional. • Las tasas de cambio de los fallecimientos se toman negativas, con caídas en la semana 33 bastante notables. • Los contagios disminuyen.
<i>Fase 4 Crecimiento incipiente</i>	38 - 47	<ul style="list-style-type: none"> • Se incremente la magnitud de los contagios. • La intensidad comienza a tener un comportamiento volátil. • La cantidad de muertos de nueva cuenta se eleva, en particular durante la semana 41 y 42 en el país, y más lentamente en la ZMCM. • La tasa de crecimiento de los contagios a nivel nacional vuelve a ser positiva (3%).
<i>Fase 5 Crecimiento exponencial</i>	48 - 51	<ul style="list-style-type: none"> • La tasa de cambio de los contagios semanales se eleva hasta 13% en el país, mostrando un comportamiento muy similar en la ZMCM. • Este incremento también se observa en las defunciones.

A lo largo de estas 42 semanas estudiadas, pueden observarse que las tasas de cambio de los contagios muestran un comportamiento similar al de una “u”, cuyo mínimo se encuentra alrededor de la Fase 3, entre julio y septiembre.

Mientras el último ascenso se observa a partir de los últimos días de noviembre. Por su parte, las defunciones muestran la forma de una “u” alargada hacia la derecha, lo cual evidencia un aumento menos acelerado de los contagios en la parte final de 2020.

Metodología

Algunas instituciones como el Centro de Ciencia e Ingeniería de Sistemas de la Universidad Johns Hopkins (JHU CSSE) han utilizados los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estudiar la distribución espacial mundial de COVID-19, incluyendo en un panel el número total de casos confirmados, la mortalidad y los pacientes recuperados a nivel internacional (Mollao et al., 2020).

En particular, los modelos de econometría espacial se han utilizado en el contexto de la pandemia del virus SAR-Cov2 para identificar aquellas poblaciones más afectadas (Bag et al., 2020) así como el análisis de los determinantes de la variabilidad geográfica, y en general como señalan Sun y colegas (2020): arrojar luz sobre el patrón de transmisión.

Estos instrumentos han mostrado que la morbilidad y la mortalidad de la COVID-19 tienen mayor carga entre las minorías raciales y/o étnicas, los ancianos, los pobres y las personas con el nivel educativo más bajo (Karaye y Horney, 2020).

Para este artículo se utiliza una metodología cuantitativa con la información proveniente de la Secretaría de Salud del gobierno de México. Dado que su periodicidad es diaria, permite acumular información en los lapsos de tiempo requeridos.

Con esta fuente de información se realizan modelos econométricos y espaciales; a partir de indicadores demográficos y sociodemográficos para crear determinantes de contagio y muerte.

La distribución de las fases de contagio y las muertes en la ZMCM

La evolución de los contagios y las muertes muestra diferentes intensidades a lo largo de 42 semanas epidemiológicas estudiadas, atenuándose alrededor del verano de 2020. Cabe esperar que la severidad de los contagios y las muertes no sólo difiera en el tiempo, sino también en el espacio. Por lo que cabría preguntarse, ¿de qué forma se distribuyen los contagios y las muertes en las diversas fases del brote epidemiológico durante 2020 en la ZMCM?

Para esto se estimó la I de Moran Global y Local³ para la primera semana de cada una de las fases antes mencionadas. Como antecedente, encontramos un estudio similar en China donde estimaron la I de Moran de los contagios de COVID-19 para tres momentos de tiempo: enero 24, febrero 6, febrero 20.

El estudio resalta que la distribución espacial del número acumulado de casos confirmados en China muestra una clara tendencia de aglomeración alrededor de Wuhan, además de que este índice primero aumentó para luego disminuir (Xie et al., 2020).

Así la I de Morán nos permitirá indagar la forma en la que la ocurrencia de un caso en una demarcación de la ZMCM está relacionada con la ocurrencia de otros en las demarcaciones aledañas ya que representa una medida de correlación en un contexto espacial.

Los resultados mostraron una heterogeneidad espacial positiva en la ZMCM a lo largo de las cinco fases antes mencionadas, tanto en los casos de contagios como de

³ Para su estimación se utilizó una matriz tipo Reina.

muerter⁴. En ambos casos, el indicador fue mayor a cero (excepto en las defunciones de la semana epidemiológica 10), lo que nos permite señalar un patrón de agrupamiento no aleatorio a lo largo del periodo de estudio.

Cuadro 1: I de Moran en la ZMCM para contagios y muertes por COVID-19

Fase	SE	Mes	Contagio	Muertes
Crecimiento acelerado (1)	10	Marzo	0.24***	-0.01
Estabilidad ascendente (2)	17	Abril	0.52***	0.40***
Estabilidad (3)	29	Julio	0.65***	0.44***
Crecimiento incipiente (4)	38	Septiembre	0.62***	0.41***
Crecimiento exponencial (5)	48	Noviembre	0.59***	0.51***
	51	Diciembre	0.56***	0.48**

Fuente: elaboración propia.

Códigos de significancia: 0 “****” 0.001 “***” 0.01 “**” 0.05 “.” 0.1 “.” 1

La I de Moran global de los contagios y las muertes resulta significativa en todas las fases de estudio en sentido estadístico (ver cuadro 1). En el caso de los contagios se observa que el patrón de agrupamiento sigue un comportamiento en forma de “u” invertida, llegando a un máximo grado de agrupamiento alrededor del mes de Julio, para luego descender durante el resto del año.

En el caso de las defunciones se presenta una diferencia que vale la pena destacar. Si bien hay un ascenso en el grado de agrupamiento desde la semana 10 a la semana 29, la caída siguiente estaría interrumpida por un nuevo incremento en el mes de noviembre.

Esto revela la existencia de un patrón espacial de contagios y muertes en el caso de la ZMCM. Ello nos invita a considerar que los factores que explican la dinámica de la diseminación y las defunciones asociadas a COVID-19 no se comportan del mismo modo en toda el área de estudio.

Para profundizar en el patrón de agrupamiento de las afectaciones de la COVID-19 en la ZMCM, se calculó la I de Moran Local, la cual nos permitió estimar el nivel de agrupamiento en las demarcaciones con un nivel de confianza mayor a 95% (Ver figuras 1a - 1f).

En la semana 10 (figura 1a), se observa un área de agrupamiento con una correlación espacial local alta de los contagios en el sudoeste de la Ciudad de México

⁴ Bag et al., (2020) muestran resultados similares para el caso de estudio de India, en donde la propagación del virus fue acorde con una temporalidad, inicialmente hacia el sur, posteriormente hacia el oeste, y finalmente hacia el centro en Delhi, capital nacional.

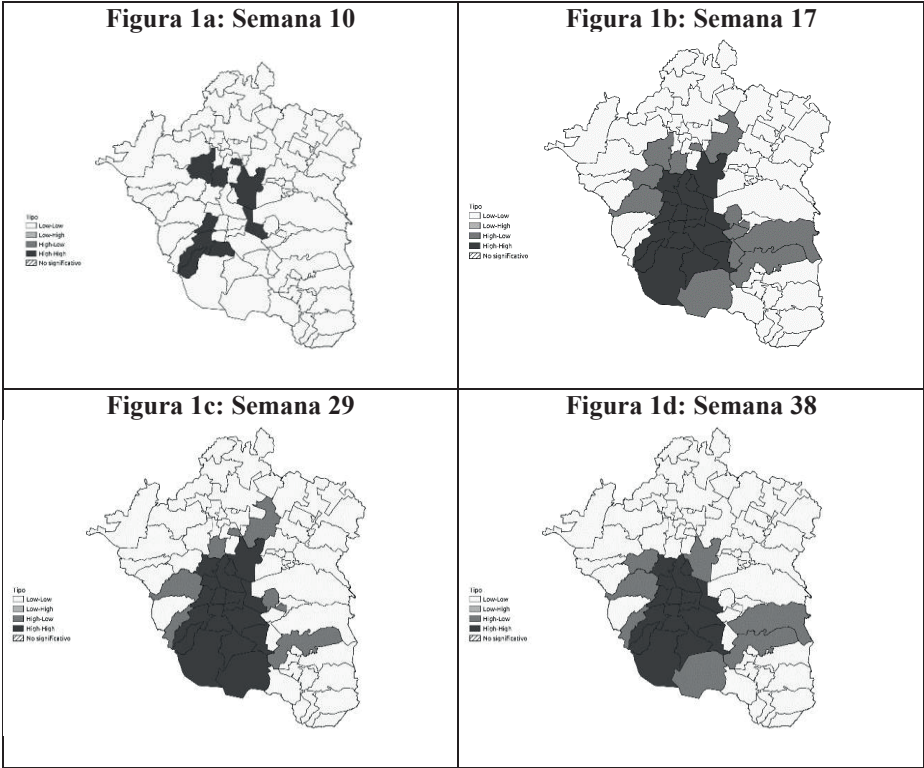
(Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo), y al norte de la misma (Cuautitlán, Tultitlán, Ecatepec y Nezahualcóyotl).

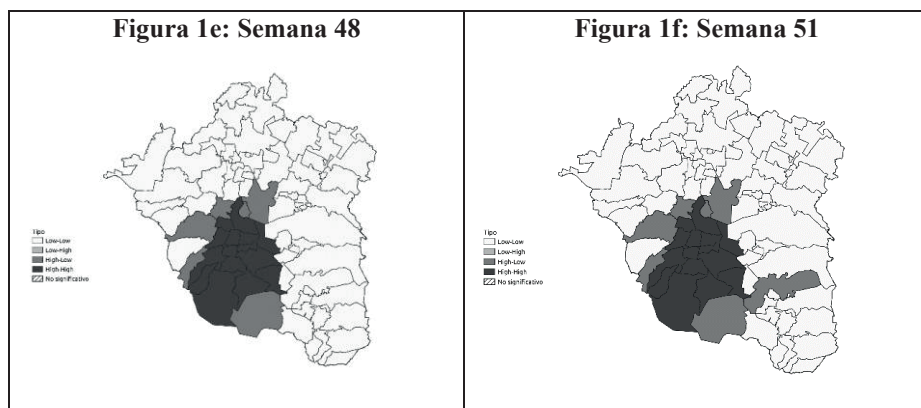
En la semana 17 el área de agrupamiento con una correlación elevada se amplía en toda la capital del país y algunos municipios aledaños en el norte (Tlalnepantla, Ecatepec y Nezahualcóyotl).

En esta misma semana también se observa un área de agrupamiento alto-bajo en un grupo de municipios que rodean la capital, entre ellos Ixtapaluca, Chimalhuacán y Chalco al oriente, y Naucalpan, Atizapán de Z., y Cuautitlán al poniente.

En el resto del área de estudio contemplamos áreas de agrupamiento con correlaciones en los contagios bajo-bajo.

Figura 1a-1f. I de Moran Local agrupamiento de Contagio en la ZMCM





Fuente: elaboración propia.

En la semana 29, cuando la intensidad del contagio comienza a disminuir, el área de agrupamiento alto-bajo de los contagios se reduce, quedando los niveles de correlación espacial local altos concentrados en la Ciudad de México, junto con un grupo de demarcaciones al norte de ésta.

En la semana 38, cuando los contagios vuelven a aumentar, el área de agrupamiento alto-bajo de los contagios se amplía tanto al oriente como al poniente. Para los últimos días de noviembre, cuando el incremento de la intensidad comienza a acentuarse, el contagio parece concentrarse en la capital del país. Mientras en la última quincena del año 2020, semana 51, el área de agrupamiento alto-bajo se extiende de nueva cuenta hacia el oriente (Chalco).

En el caso de las muertes, en la semana 10⁵ sólo Miguel Hidalgo y Benito Juárez configurar un área de agrupamiento local bajo-bajo. Ello cambiaría notoriamente en las semanas siguientes. Para los últimos días de abril (semana 17), se observa un área de agrupamiento alto-alto entre las demarcaciones Álvaro Obregón, Tlalnepantla, Ecatepec, y Valle de Chalco. Por otra parte, hay un grupo de demarcaciones que rodean esta área que muestran una fuerte influencia. Además, en el exterior de la ZMCM, notamos varias áreas de agrupamiento bajo-bajo.

Cabe destacar que al final del año 2020, cuando los contagios y las muertes se aceleran y extienden en el área de estudio, las áreas de agrupamiento alto-alto y alto-bajo absorben a varios municipios del oriente y el poniente del Estado de México, así como las demarcaciones al sur de la capital, elementos que deben ser considerados ante rebrotes futuros.

⁵ Por motivos de espacio no se colocan los mapas correspondientes.

Los determinantes de la letalidad, prevalencia y mortalidad de la COVID-19

En los estudios sobre la dinámica espacial de la Covid-19 las variables dependientes que se han utilizado con frecuencia han sido las muertes acumuladas (Custodio y Kondo, 2020), el número de casos confirmados acumulados (Sun et al., 2020; Karaye y Horney, 2020), la tasa de prevalencia (Mejía et al., 2020), y la tasa de propagación (Xie et al., 2020).

Dada la complejidad del fenómeno son vastos los determinantes que han sido utilizados para explorar las variaciones de los contagios y las muertes asociados al SARS-Cov2.

Custodio y Kondo (2020) para un estudio de Brasil consideraron factores ambientales tales como: número de hogares por distrito o población asentada en asentamientos deficientes, así como factores sociales: como ingreso mensual promedio o el acceso a agua potable.

Mollalo y colegas (2020) incluyeron en su estudio para Estados Unidos de América factores ambientales, topográficos, socioeconómicos, psicológicos y demográficos. Con resultados significativos sólo la desigualdad de ingresos, el ingreso medio del hogar, el porcentaje de enfermeras practicantes y el porcentaje de la población femenina negra.

Mejía y colegas (2020) para el caso de México tomaron en cuenta factores sociales (aproximación del acatamiento de las recomendaciones de la Secretaría de Salud) y demográficos (densidad poblacional).

En otros casos se utilizaron índices con la pretensión de capturar los efectos agregados de estos determinantes (Karaye y Horney, 2020).

En esta investigación hemos decidido utilizar como variables dependientes las tasas de mortalidad, letalidad y prevalencia⁶ así como determinantes explicativos desde la dimensión demográfica y la socioeconómica, para su análisis se utilizaron las siguientes variables:

Cuadro 2. Variables explicativas de la dinámica de la Covid-19

Demográficas	Socioeconómicas
<ul style="list-style-type: none"> Densidad poblacional⁷; 	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de ocupados con una remuneración menor a dos salarios mínimo;

⁶ **Tasa de mortalidad:** cantidad de muertos entre la población en cada demarcación en el mismo periodo. **Tasa de letalidad:** cantidad de muertes y contagios registrados en cada demarcación en el mismo periodo. **Tasa de prevalencia:** cantidad de contagios entre la población en cada demarcación en el mismo periodo.

⁷ Padilla et al., (2020). Mostraron una asociación entre las muertes y los contagios con la densidad poblacional para el caso de México.

<ul style="list-style-type: none"> • Nivel promedio de hacinamiento en los hogares; • Porcentaje de población por encima de los 64 años; • Porcentaje de población en localidades con menos de 5 mil habitantes. 	<p>Porcentaje de viviendas que no cuentan con drenaje;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada; • Porcentaje de población adulta analfabeta
---	--

De acuerdo con la información censal de 2010, la proporción más alta de personas analfabetas las hallamos en la corona exterior de la ZMCM: en Texcoco al oriente, en la zona sureste (Juchitepec, Atlautla y Ecatzingo), al noreste (Nopaltepec y Axapusco), al norte (Hueypoxtla), y al poniente (Villa del Carbón e Isidro Fabela), todas las cuales muestran a su vez carencias socioeconómicas como la baja remuneración al trabajo, y bajo acceso a servicio como drenaje y agua entubada.

Mientras las remuneraciones salariales promedio más bajas las encontramos en un conjunto de demarcaciones al sureste que va de Milpa Alta a Atlautla, además de otro conjunto ligeramente más reducido al noreste, que va de Nopaltepec a Otumba.

Aquellas demarcaciones que han mostrado menos carencias en acceso a las variables socioeconómicas tienen también los niveles más bajos de analfabetismo, en especial en el poniente de la Capital del país, así como en un conjunto de demarcaciones que la rodean.

De forma que podemos identificar áreas de la ZMCM en donde se suelen encontrar los niveles más deficientes de acceso a las variables socioeconómicas y otras ubicadas en la Ciudad de México y sus cercanías con un mayor acceso. ¿Pero qué tanto estas diferencias pueden determinar el contagio y la muerte asociada al virus SARS-Cov2?

En esta sección nos interesa conocer específicamente la forma en la que se vinculan los determinantes socioeconómicos y demográficos con las tasas de mortalidad, letalidad y prevalencia en la ZMCM. Para descartar aquellas variables que no muestran asociación estadística se estimaron pruebas de correlación de Spearman.

Este ejercicio permite aseverar que, en el caso de la tasa de mortalidad, al igual que la tasa de prevalencia, todas las variables resultaron significativas, excepto el porcentaje de población mayor a los 64 años.

Por el contrario, el nivel de hacinamiento resultó ser la variable más correlacionada, indicando que mientras más alto es éste, menor es la tasa de mortalidad⁸.

⁸ Por motivos de espacio no se colocan los mapas de todas las variables salvo las de algunos casos para ilustrar los resultados obtenidos.

Para la tasa de letalidad todas las variables mostraron una asociación significativa, excepto el porcentaje de viviendas sin acceso al servicio de agua entubada. También se observa una correlación negativa entre la tasa de prevalencia y el nivel de hacinamiento, el nivel de analfabetismo, el porcentaje de población sin drenaje, así como el porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta dos salarios mínimos (Ver cuadro 3).

Cuadro 3: Correlación de las afectaciones de COVID-19 con la dimensión demográfica y socioeconómica

Dimensión	Mortalidad		Letalidad		Prevalencia	
Socioeconómica						
%Sin drenaje	-0.53	***	0.36	***	-0.64	***
%Sin agua	-0.40	***	0.14		-0.34	***
Sal. Mín.	-0.54	***	0.28	***	-0.61	***
Analfabetismo	-0.50	***	0.39	***	-0.65	***
Demográfica						
Hacinamiento	-0.68	***	0.33	***	-0.73	***
%Rural	-0.57	***	0.24	*	-0.59	***
Densidad	0.50	***	-0.26	**	0.56	***
%Ancianos	0.11		-0.28	***	0.17	

Fuente: Elaboración propia.

Códigos de significancia: 0 “****” 0.001 “***” 0.01 “**” 0.05 “*” 0.1 “.” 1

Para estudiar la asociación entre las afectaciones por COVID-19 y las variables que resultaron significativas, aplicamos Mínimos Cuadrados Ordinarios, así como el método de Regresión Ponderada Geográficamente (GWR por sus siglas en inglés). Este último ha sido utilizado como una alternativa a los modelos globales que asumen una relación sin variaciones espaciales (Custodio y Kondo, 2020).

Durante el brote epidémico asociado a COVID-19 se ha utilizado para analizar la variabilidad geográfica, y para explicar sus divergencias considerando la demografía, la infraestructura médica, las interacciones sociales e influencias ambientales, además de las medidas adoptadas por los distintos niveles de gobierno (Bag et al., 2020; Sun et al., 2020).

De esta clase de ejercicios se deduce la posibilidad de ofrecer una estrategia de política “específica del espacio” (Bag et al., 2020), y con ello mejorar la calidad de la atención (Mollao et al., 2020).

En el cuadro 4 observamos que con las tres variables dependientes; las tasas de mortalidad, letalidad y prevalencia los modelos logran un mejor ajuste con GWR.

La tasa de prevalencia muestra un mejor ajuste por GWR⁹, así como la tasa de mortalidad mostró esta bondad con los MCO, mientras que fue la tasa de letalidad la que peor se ajustó.

La magnitud de los estimadores y su significancia permiten aseverar que la mortalidad, la letalidad y la prevalencia se vinculan con los factores socioeconómicos y demográficos de manera diferente.

Partiendo de MCO, en el caso de la tasa de mortalidad el porcentaje de viviendas sin agua resultó la única variable socioeconómica no significativa. En el caso de la tasa de letalidad sólo el porcentaje de viviendas sin drenaje y el nivel de analfabetismo resultaron significativos.

Por otra parte, no hay sólo un factor socioeconómico que ayude a explicar las variaciones de la tasa de prevalencia. Además, el grado de hacinamiento fue la única variable demográfica que resultó significativa para explicar la mortalidad y la prevalencia.

Conviene señalar que considerando MCO la proporción de adultos mayores mostró una relación negativa con respecto a la tasa de letalidad, lo cual es contrario a lo que se había contemplado, pues dada la elevada mortalidad de los adultos mayores observada se podría haber esperado que la letalidad fuera más elevada cuanto mayor fuera el porcentaje de los ancianos. Ello se puede deber al impacto de las medidas de reclusión o bien a un problema de temporalidad de los registros.

Si ahora observamos los resultados correspondientes a GWR observamos que a pesar de que la mediana de los estimadores calculados para cada demarcación es positiva (2.34), podemos ver algunas demarcaciones en las que esta relación se torna negativa, dando cuenta de la heterogeneidad espacial de este vínculo en el área de estudio.

⁹ Ello se ha podido observar en otras investigaciones como en el caso de Mollalo y colegas (2020) que mostraron un considerable incremento de R cuadrada ajustada entre MCO y GWR para el ajuste del modelo de dispersión en Estados Unidos.

Cuadro 4: Regresión por MCO y GWR de las afectaciones por COVID-19 por dimensión socioeconómica y demográfica

ESTIMADOS	Mortalidad					Letalidad					Prevalencia				
	GWR			MCO		GWR			MCO		GWR			MCO	
	min	med	máx			min	med	máx			min	med	máx		
Intercepto	1.16	2.17	3.47	2.55	*	3183.10	48.61	2059.50	218.73	**	139.78	16.94	201.24	42.44	**
Socioeconómicos															
%Sin drenaje	-0.20	-0.08	-0.05	-0.06	**	-4.75	0.31	114.74	-9.56	*	224.76	-0.66	255.40	-0.26	
%Sin agua	-0.01	0.00	0.04	0.00		NA	NA	NA	NA		17.45	-0.16	8.92	0.04	
Sal. Mín.	-0.03	0.01	0.01	-0.01	*	-4.29	0.46	12.96	0.01		-4.14	0.15	8.97	0.01	
Analfabetismo	0.03	0.08	0.31	0.11	*	-20.40	11.73	120.46	25.71	**	34.62	0.36	36.37	-0.08	
Demográficos															
Hacinamiento	-0.05	-0.02	0.01	-0.03	**	-30.67	1.93	31.17	-1.53		-7.40	0.03	3.77	-0.60	**
%Rural	-0.61	0.41	0.09	-0.29		463.23	11.43	2874.40	-34.42		35.93	0.02	5.17	-6.01	
Densidad	0.00	0.00	0.01	0.00		-5.61	0.23	30.22	-0.07		13.89	0.09	2.64	0.04	
%Ancianos	NA	NA	NA	NA		141.39	2.34	204.95	-10.78	*	NA	NA	NA	NA	
AJUSTE															
AIC	113.48			154.39		928.68			1179.77		49.28			815.31	
R2	0.68			0.46		0.96			0.22		1.00			0.38	

Fuente: elaboración propia.

Códigos de significancia: 0 “****” 0.001 “***” 0.01 “**” 0.05 “*” 0.1 “.” 1 “”

La aplicación de GWR permite capturar la heterogeneidad de las relaciones entre las dimensiones de estudio (socioeconómica y demográfica) y las afectaciones por COVID-19.

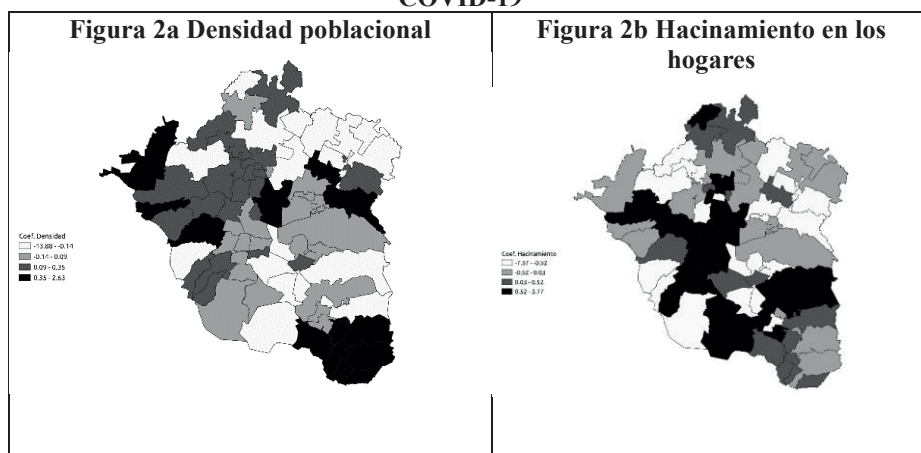
Ejemplo de ello es el modelo de la tasa de prevalencia, en el cual el coeficiente de hacinamiento tiene una relación negativa en un grupo de demarcaciones ubicado en diversas áreas del Estado de México.

Pero hay regiones en donde la relación se hace positiva, es decir, mientras más alto es el grado de hacinamiento más alta es la tasa de prevalencia, lo cual ocurre en un grupo de demarcaciones al norte de la CDMX, además de Chalco e Ixtapaluca.

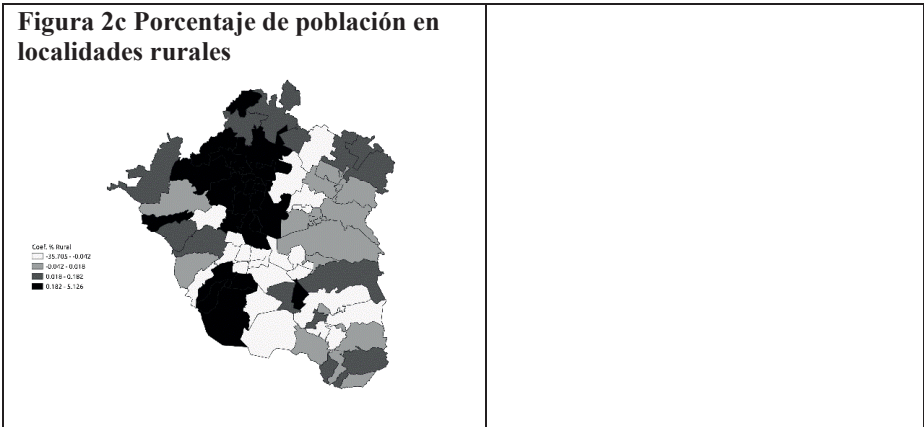
En el caso de los determinantes socioeconómicos, el porcentaje de hogares sin drenaje ni excusado tiene efectos discordantes sobre la tasa de letalidad de la COVID-19. Dada la naturaleza de contagio de SARS-Cov2, cabría esperar que una mayor ausencia de estos servicios estuviera asociada con una letalidad más elevada.

En la figura 3d se muestra que, en algunos casos, especialmente al noreste de la ZMCM alrededor de Nopaltepec, así como al oeste alrededor de Naucalpan mientras más alto es el porcentaje de hogares sin drenaje es menor la tasa de letalidad, contrario a lo esperado. Sin embargo, esta relación se invierte para la mayor parte de la Ciudad de México y las demarcaciones al oriente del Estado de México que es una región que va de Acolman a Ecatepec.

Figura 2a-2c. Coeficientes de regresión (GWR) de la tasa de prevalencia de la COVID-19¹⁰



¹⁰ Por motivos de espacio sólo se presentan los mapas representativos.



Fuente: elaboración propia.

Siguiendo con el análisis de la tasa de letalidad, en el caso del grado de analfabetismo apreciamos un efecto similar al anterior. No obstante, predomina un vínculo positivo en el cual mientras más alto es éste más alta es la tasa de letalidad. Ello no excluye la existencia de una relación negativa como en un grupo de demarcaciones al norte de la ZMCM alrededor de Zumpango, Tecámac, Coacalco de Berriozábal y Huehuetoca. En el resto de la ZMCM se observa que mientras más alto es el analfabetismo más alta es la letalidad asociada a la COVID-19 (Ver figura 3a).

En el caso de la tasa de mortalidad su relación con el porcentaje de analfabetismo en todos los casos resulta positiva, lo que manifiesta que conforme más alta es la proporción de analfabetismo más elevada es la tasa de mortalidad, enfatizando una vez más la relevancia de esta variable en las estimaciones realizadas sobre la dinámica sanitaria de la COVID-19.

Ello se acentúa en toda la región nororiente, desde Ixtapaluca hasta Nopaltepec. Aún más se puede notar que conforme nos dirigimos al poniente esta variable pierde fuerza en gran parte de la ZMCM.

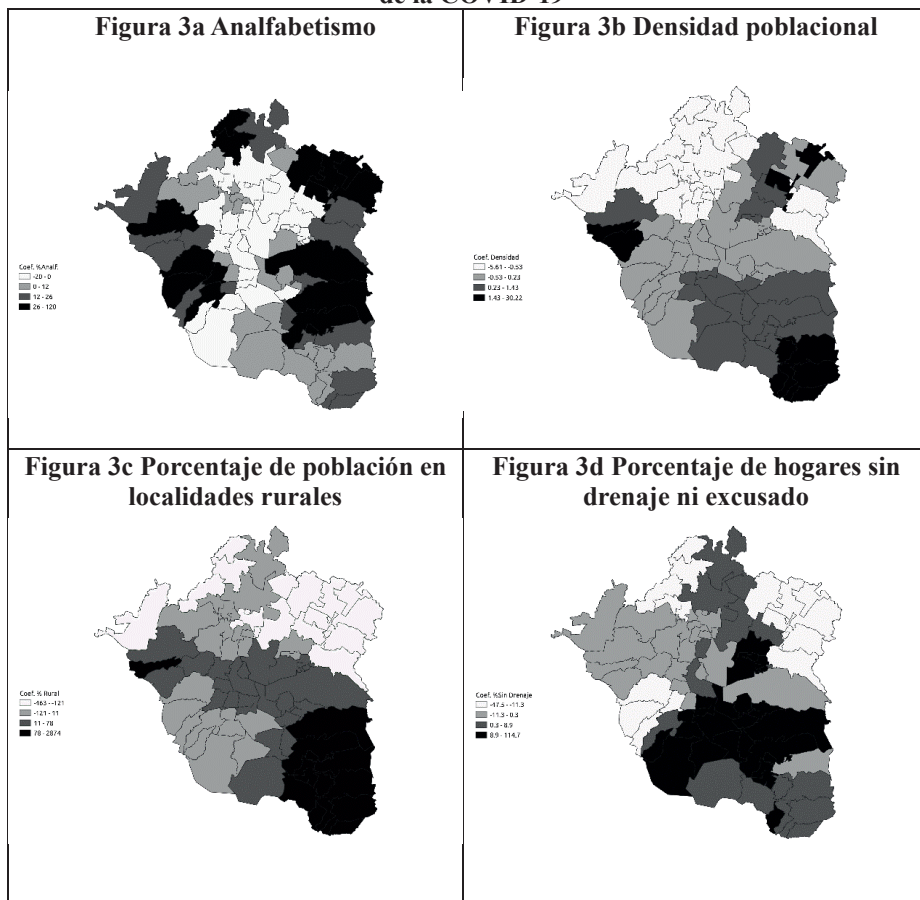
Por su parte, de manera poco esperada el porcentaje de viviendas sin drenaje ni excusado es una variable que guarda una relación claramente negativa con la mortalidad.

Por medio de información censal sabemos que el porcentaje de viviendas que cuentan con este servicio es alto en gran parte de la Ciudad de México, además de otras demarcaciones al oriente, como Valle de Chalco, Nezahualcoyotl, Chicoloapan, Ecatepec, Tlanepantla, Atizapán de Zaragoza.

En el resto de la ZMCM se agudiza la ausencia de drenaje, especialmente en su corona exterior. La relación inversa que guarda esta variable sobre la mortalidad

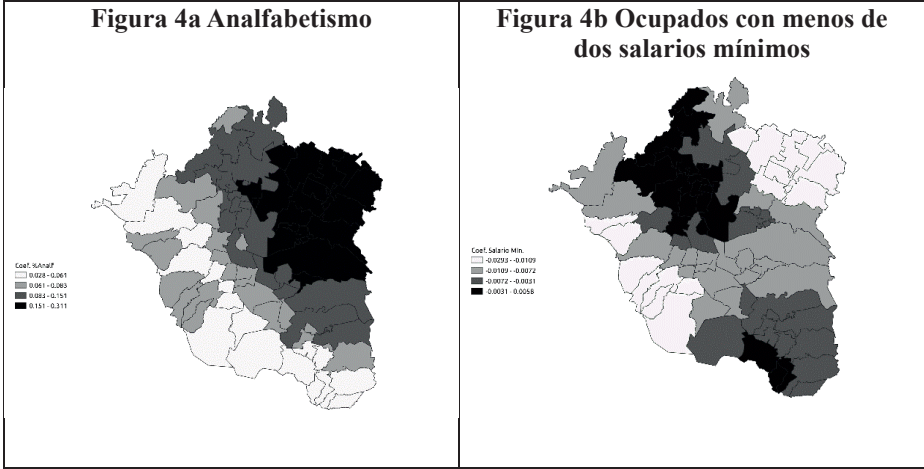
muestra con claridad que se agudiza paulatinamente conforme nos movemos al oriente.

Figura 3a-3d. Coeficientes de regresión (GWR) de la tasa de letalidad de la COVID-19



Fuente: elaboración propia.

Figura 4a-4b. Coeficientes de regresión (GWR) de la tasa de mortalidad de la COVID-19



Fuente: elaboración propia.

Con relación a la tasa de mortalidad vinculada con el porcentaje de ocupados con menos de dos salarios mínimos de remuneración, si bien predomina una relación inversa (-0.01), es decir, cuanto más grande es el porcentaje de ocupados con baja remuneración, menor es la tasa de mortalidad, aseveración que se vislumbra con más claridad en el ponente de la CDMX y al nororiente de la ZMCM.

Sólo en esta área podemos hallar la relación que podría esperarse, mientras que en gran parte de la ZM mientras más alta es la proporción de personas con baja remuneración la mortalidad es mayor (Ver figura 4b).

Conviene apuntar que tanto la proporción de población en localidades rurales como la densidad poblacional mostraron estimadores con una magnitud alta sobre la tasa de letalidad y la tasa de prevalencia en el modelo GWR, aunque no resultaron significativos con MCO. Ambas variables demográficas tienen efectos ambivalentes sobre la letalidad y la prevalencia de COVID-19.

Por información censal sabemos que la mayor proporción de localidades rurales se concentra en el conjunto de demarcaciones ubicadas entre Tepetlaoxtoc y Nopaltepec, al noreste de la ZMCM, además de Valle del Carbón, Jilotzingo e Isidro Fabela al noroeste del área de estudio, así como al sureste de la ZMCM.

En el caso de la tasa de letalidad resulta interesante notar que su relación con la proporción de población en localidades rurales es inversa en las regiones del norte del área de estudio. Se torna positiva en el área rural, al sureste, en el grupo de demarcaciones que va de Ixtapaluca a Ecatingo. En esta área las

demarcaciones con mayor porcentaje de población en localidades rurales son las que mostraron las tasas de letalidad más elevadas (Ver figura 3c).

En el caso de la tasa de prevalencia, en la mayor parte de la ZMCM hallamos un vínculo positivo, en el cual un porcentaje más elevado de población en localidades rurales conlleva una tasa de prevalencia más elevada. Esto sugiere que algunos rasgos asociados a las áreas rururbanas de esta ZM, como la falta de infraestructura sanitaria y de servicios de salud pública podrían explicar esta asociación estadística. Sólo en municipios como Temascalapa, Tecámac, Acolman, además de Chalco y Tlalmanalco, esta asociación positiva se pone en tela de juicio (Ver figura 2c).

Por su parte, la densidad de población fue incluida para probar la hipótesis de que, dada la naturaleza estudiada del virus SARS-COV2, una mayor densidad podría conllevar mayores afectaciones por COVID-19. Conforme a los resultados obtenidos podemos indicar que ello no resultó significativo para MCO, no obstante, en GWR se obtuvo una variabilidad notable.

En la mayor parte de la ZMCM la tasa de prevalencia mostró una relación positiva con la densidad poblacional, excepto para un conjunto de demarcaciones al sureste de la Ciudad de México, de Iztapalapa a hasta Milpa Alta, además de Ixtapaluca y Tlalmanalco, fenómeno que se comparte con un conjunto de municipios del Estado de México que va de Axapusco a Zumpango, al norte de la ZMCM (Ver mapa 2a).

De modo similar a la tasa de prevalencia, los resultados indican que en gran parte de la ZMCM cuando menor es la densidad de población se observa una tasa de letalidad menor. Esta situación se acentúa particularmente en los municipios ubicados al sureste, entre Ecatingo y Amecameca. No obstante, esta relación se pone en duda en el extremo opuesto de la ZMCM, en una extensa región que va desde Valle del Carbón hasta Tizayuca, en donde se observa que cuanto menor es la densidad de población se observa una tasa de letalidad más elevada.

Conclusiones

Más de un año del inicio de la pandemia y de las medidas de mitigación en México y son varias las lecciones aprendidas: la enorme inequidad que existe en nuestro país, la falta de infraestructura sanitaria, así como el deterioro que se ha dado en ciencia y tecnología.

Este artículo a partir de los modelos espaciales dio cuenta de la heterogeneidad que se produce en una zona metropolitana que pareciera tener la misma dinámica económica y demográfica pero que evidencia que no es así.

Observamos que los grados de correlación de contagio y muerte fueron altos al principio en el sudoeste de la Ciudad de México (Álvaro Obregón y Miguel Hidalgo), al igual que en el norte de la Zona Metropolitana (Cuautitlán, Tultitlán, Ecatepec y Nezahualcóyotl) pero estos se fueron expandiendo al oriente y poniente del Estado de México y al sur de la capital del país. Lo que evidencia que no es posible contener los contagios en demarcaciones abiertas a la movilidad de las personas, y que son necesarias otras variables no para explicar contagio, sino para explicar muerte y prevalencia.

Esta búsqueda de nuevas explicaciones la hicimos con un grupo de variables explicativas agrupadas en determinantes demográficos y socioeconómicos, en donde entre otras la densidad poblacional, hacinamiento de los hogares y población mayor de 65 años se pusieron en el modelo; al igual que remuneración salarial y algunos aspectos de marginación como drenaje, agua entubada y analfabetismo.

Con lo que se encontró que localidades con mayor dotación de servicios tienen también menor grado de analfabetismo lo que lleva posiblemente a reforzar la idea de que a mejor educación mayor bienestar traducida en: una menor marginación lleva a más años educativos cursados.

La magnitud de los estimadores y su significancia permiten aseverar que las tasas de mortalidad, letalidad y prevalencia se vinculan con los factores socioeconómicos y demográficos de manera diferente. Sin embargo, inesperadamente el porcentaje de vivienda sin agua resultó ser la única variable no significativa. Es de llamar la atención ya que una de las estrategias de contención de la pandemia fue lavado frecuente de manos con agua y jabón.

Una posible explicación que le damos es que se ejerce un control por parte de las familias para mantener a los miembros al interior del hogar y salir sólo lo necesario. Consideramos que el factor coerción familiar jugó un papel fundamental para que esta variable dejara de ser significativa.

Todavía hay mucho que investigar y que explorar para saber las afectaciones que los países y en particular el nuestro ha tenido por la pandemia, aquí sólo mostramos algunas posibles explicaciones para entender un poco más las implicaciones espaciales, las implicaciones del territorio en la vida de las personas.

Bibliografía

- BAG, Rakhohori; Manoranjan Ghosh; Bapan Biswas y Mitrajit Chatterjee (2020). “Understanding the spatio-temporal pattern of COVID-19 outbreak in India using GIS and India's response in managing the pandemic” in *Regional Science Policy and Practice*. 1-41, DOI: 10.1111/rsp3.12359
- CUSTODIO, Rodrigo y Liane Kondo (2020). “GIS-based spatial modelling of COVID-19 death incidence in São Paulo, Brazil” in *Environment & Urbanization*. 1-10, DOI: 10.1177/0956247820963962
- KARAYE, Ibraheem y Jennifer Horney (2020). “The Impact of Social Vulnerability on COVID-19 in the U.S.: An Analysis of Spatially Varying Relationships” in *American Journal of Preventive Medicine*. 59(3), 317-325, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2020.06.006>
- MEJÍA, Pablo; Hurtado, Annel y Liliana Rendón (2020). “Efecto de factores socio-económicos y condiciones de salud en el contagio de COVID-19 en los estados de México” en *Contaduría Y Administración*. 65(4), 1-19, DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.3127>
- MOLLALO, Abolfazl; Behzad Vahedi y Kiara Rivera (2020). “GIS-based spatial modeling of COVID-19 incidence rate in the continental United States” in *Science of the Total Environment*. 728, 1-8, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138884>
- PADILLA, Fernando; Maya, Lucero y Floribel, Ferman (2020). “COVID-19 en México: Panorama Epidemiológico”, en *Revista Cadena de Cerebro*, 4, pp. 31-42, DOI: <https://www.cadenadecerebros.com/art-ao-41-01>
- SUN, Feinuo; Stephen A. Matthews; Tse-Chuan Yang y Ming-Hsiao Hu (2020). “A spatial analysis of the COVID-19 period prevalence in U.S. counties through June 28, 2020: where geography matters?” in *Annals of Epidemiology*, 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2020.07.014>
- XIE, Zhixiang, Yaochen Qin, Yang Li, Wei Shen, Zhicheng Zheng y Shirui Liu (2020), “Spatial and temporal differentiation of COVID-19 epidemic spread in mainland China and its influencing factors” in *Science of the Total Environment*. 744, 1-9.