

Metodología para la estimación del indicador de pobreza por localidad urbana, 2020

Diciembre 2022



Consejo Nacional de Evaluación
de la Política de Desarrollo Social

Directorio

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo social

Consejo Académico

Armando Bartra Vergés

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

María del Rosario Cárdenas Elizalde

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Guillermo Miguel Cejudo Ramírez

Centro de Investigación y Docencia Económicas

Claudia Vanessa Maldonado Trujillo

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Salomón Nahmad Sittón

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores
en Antropología Social-Pacífico Sur

John Roberto Scott Andretta

Centro de Investigación y Docencia Económicas

Secretaría Ejecutiva

José Nabor Cruz Marcelo

Secretario Ejecutivo

Alida Marcela Gutiérrez Landeros

Coordinadora General de Análisis de la Pobreza

José Manuel Del Muro Guerrero

Coordinador General de Monitoreo, Entidades Federativas y
Fortalecimiento Institucional

Karina Barrios Sánchez

Coordinadora General de Evaluación

Daniel Gutiérrez Cruz

Coordinador General de Administración



Consejo Nacional de Evaluación
de la Política de Desarrollo Social

Equipo Técnico

Joel Avila Lua

Flor Araceli Ruiz Peña

Raúl Alberto Dufoo Barrios

Alma Nayeli Santos Coria

Carlos Enrique Vázquez Juárez

Víctor Ríos Ramírez

Luis Manuel Arreguín Toral

Diana Zuleima Zaragoza Aguiña

Orlando García Vega

Patricia Estrada Drouaillet

Iván Orlando Hernández Martínez

César Pineda Hernández

Jesus Emanuel Paredes Romero

Alida Marcela Gutiérrez Landeros



Consejo Nacional de Evaluación
de la Política de Desarrollo Social

Contenido

Introducción	1
Antecedentes	3
<i>La localidad</i>	4
Población de análisis	5
Estimación del indicador de pobreza por localidad urbana	5
Estimación directa	5
Estimación por modelos	7
Alcances y limitaciones.....	10
Bibliografía	11
Anexo	13

Introducción

La Ley General de Desarrollo Social (LGDS) determina como uno de sus objetivos garantizar el acceso de toda la población al desarrollo social, tiene como marco la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual establece la obligación del Estado Mexicano de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos. Además, de acuerdo con el artículo 81 de esta Ley, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) tiene por objeto normar y coordinar la evaluación de las políticas y programas de desarrollo social que ejecuten las dependencias públicas, y establecer los lineamientos y criterios para la definición, identificación y medición de la pobreza en México, garantizando su transparencia, objetividad y rigor técnico.

Asimismo, de acuerdo con el artículo 36 de la LGDS, el CONEVAL deberá utilizar la información que genere el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) para la medición de la pobreza, tomando en consideración al menos los siguientes indicadores¹:

- Ingreso corriente per cápita
- Rezago educativo promedio en el hogar
- Acceso a los servicios de salud
- Acceso a la seguridad social
- Calidad y espacios de la vivienda
- Acceso a los servicios básicos en la vivienda
- Acceso a la alimentación
- Grado de cohesión social

¹ Se hace referencia al conjunto de indicadores que corresponden a los Lineamientos y criterios generales para la definición, identificación y medición de la pobreza, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 16 de junio de 2010, mismos que establecen que con el fin de asegurar que las mediciones de pobreza efectuadas permitan ofrecer continuidad, es indispensable que los criterios metodológicos que la sustentan permanezcan inalterados. Por tal motivo, la medición de pobreza a nivel municipal contempla los indicadores referidos para la medición correspondiente a la década 2010-2020. Para más información consultar:

https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med_pobreza/DiarioOficial/DOF_lineamientos_pobrezaCONEVAL_16062010.pdf

Adicionalmente, en el artículo 37 de la LGDS se establece que la medición de pobreza que realice el CONEVAL deberá hacerse con una periodicidad mínima de dos años para cada entidad federativa y con información desagregada a nivel municipal o por demarcación territorial cada cinco años.

De esta forma, el CONEVAL debe asegurar que la Metodología para la Medición Multidimensional de la Pobreza en México (MMMP)² satisfaga los siguientes criterios:

- Incorporar indicadores pertinentes.
- Permitir conocer la contribución de las entidades federativas y los municipios a la pobreza nacional.
- Identificar la contribución de cada dimensión a la pobreza.
- Ser desagregable para distintos grupos de población.
- Realizar mediciones comparables a lo largo del tiempo.
- Ser aplicable a partir de la información que proporciona el Inegi.
- Brindar un marco analítico apropiado para analizar las carencias de la población e identificar las regiones y grupos sociales con mayores carencias.
- Satisfacer un conjunto de propiedades axiomáticas, tales como la monotonidad y la normalización, entre otras.

En este sentido, con el objetivo de proveer información a un nivel de desagregación mayor al municipio y que, además, aporte evidencia para el diseño, implementación y evaluación de la política de desarrollo social del país, el CONEVAL realizó la estimación del indicador de pobreza a una escala geográfica que permitiera identificar, desde lo local, la situación de pobreza multidimensional de las personas. Este fue construido principalmente con los resultados del CONEVAL sobre la *Medición de pobreza en los municipios de México, 2020* y con la información publicada por el Inegi. Con estos insumos y con el uso de técnicas de análisis geoespacial que contemplan rigurosos criterios estadísticos, fue posible estimar el indicador de pobreza por localidad urbana para el año 2020.

² Para más información consultar la página del CONEVAL en la siguiente liga:
<https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/InformesPublicaciones/Paginas/Publicaciones-sobre-Medicion-de-la-pobreza.aspx>

Antecedentes

En 2018, el CONEVAL publicó por primera vez en México las estimaciones de pobreza a nivel Área Geoestadística Básica urbana (AGEB)^{3,4} (CONEVAL, 2018), las cuales fueron generadas con información de la medición de pobreza a escala municipal 2015 y con información del Inegi. Los resultados permitieron clasificar un poco más de 43 mil AGEB urbanas en cinco rangos, de acuerdo con su porcentaje de población en situación de pobreza. Dichas AGEB se encontraban distribuidas en 1,101 municipios con 15,000 o más habitantes que tenían al menos una localidad urbana. Asimismo, se identificó que en 15,181 AGEB, más de la mitad de su población estaba en situación de pobreza.

En 2022, derivado de la publicación de los resultados de la *Medición de pobreza en los municipios de México, 2020*, el CONEVAL revisó y analizó la información disponible con el objetivo de actualizar las estimaciones de pobreza urbana por AGEB para ese mismo año, sin embargo, durante el proceso se identificaron cambios⁵ en el diseño de la muestra del Censo de Población y Vivienda (CPV) 2020, respecto a la Encuesta Intercensal (EI) 2015. El principal cambio fue que para 2015, el levantamiento de la muestra en las localidades de 15,000 o más habitantes se realizó a nivel AGEB, en las cuales se seleccionaron un promedio de dos manzanas; en contraste, en el diseño de la muestra del cuestionario ampliado del CPV 2020 ya no se consideró a todas las AGEB urbanas. Además, de 2015 a 2020 hubo una reducción de tamaño muestral de aproximadamente dos millones de viviendas. De ahí que para 2020, se presentaron diferencias con la información disponible en 2015, por ejemplo, mayor dispersión de las unidades de observación; por lo que fue necesario analizar de manera exhaustiva el impacto que se tendría en las estimaciones de pobreza en áreas al interior de los municipios.

Una vez analizada la información y debido a sus restricciones, producto de lo descrito anteriormente, se consideró la pertinencia de estimar el indicador de pobreza a nivel localidad urbana, ya que la fuente de información nos permite contar con los insumos necesarios para la aplicación de la MMMP.

³ Las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas son un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera.

⁴ Para más información consultar la página del CONEVAL en la siguiente liga:
<https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/POBREZA-URBANA-EN-MEXICO-2015.aspx>

⁵ Los cambios en el diseño de la muestra del Censo de Población y Vivienda 2020, respecto a la EI 2015, no repercuten en las estimaciones de pobreza municipales, debido a que tienen representatividad a este nivel.

La localidad

La localidad es una unidad de análisis que se ha utilizado para mostrar información relacionada con el bienestar y el desarrollo social de la población. Por ejemplo, el Consejo Nacional de Población (Conapo) publica el índice de marginación (Conapo, 2021); por su parte, el CONEVAL genera el índice de rezago social (CONEVAL, 2021); ambos indicadores ofrecen información a este nivel de desagregación y utilizan variables asociadas a educación, vivienda y disponibilidad de bienes, sin embargo, no consideran dimensiones como el ingreso, la seguridad social o alimentación, que sí se incluyen en la estimación de pobreza multidimensional a nivel de localidad urbana.

La localidad, aunque no es una división territorial, como el Área Geoestadística Municipal (AGEM), sí es una unidad estadística considerada por el Inegi, la cual se define como todo lugar ocupado con una o más viviendas, que pueden estar o no habitadas; este lugar es reconocido por un nombre dado por la ley o la costumbre (Inegi, 2020).

Este nivel de desagregación ofrece la posibilidad de captar información (cuantitativa y cualitativa), sobre aspectos de índole social, económica, política, cultural y ambiental; por ejemplo, la disponibilidad de infraestructura, la conectividad y accesibilidad de los entornos, la presencia de servicios básicos y bienes públicos, la oferta de espacios culturales y recreativos, entre otros.

En cuanto a la localidad como categoría de análisis espacial, se reconoce que su conceptualización está relacionada con aspectos socio territoriales que van más allá de sus límites físicos y su carácter estadístico (Conapo, 2010).

Para el análisis de la pobreza, contar con información desagregada a este nivel posibilita conocer las condiciones de vida de las personas que las habitan, los contextos socioambientales específicos y las dinámicas territoriales que se generan en función de los atributos de cada localidad, como el número de habitantes, la localización geográfica, la interacción espacial, entre otras. Además, conocer el comportamiento de la pobreza al interior de los municipios, en contextos sociales y espaciales que se configuran a partir de dinámicas

territoriales multiescalares, permite contribuir a la operatividad de las acciones y programas sociales destinados a reducir la pobreza.

Población de análisis

La población de análisis es la que habita en las localidades urbanas a nivel nacional. Se define como localidad urbana⁶ aquellas donde, conforme al último Censo o Censo de Población y Vivienda tienen una población igual o mayor a 2,500 habitantes o es cabecera municipal (Inegi, 2020). Cabe aclarar que de acuerdo con la clasificación del Inegi hay localidades urbanas con población menor a 2,500 habitantes.

En 2020, en estas localidades urbanas residía el 79.6% de la población del país, es decir, 8 de cada 10 personas habitaban en alguna de las 5,234 localidades urbanas; además, 39 de los 56 millones de personas en situación de pobreza⁷ se ubicaron en estos espacios.

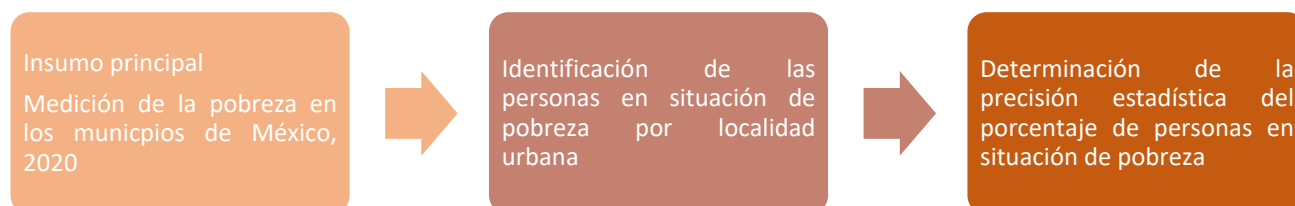
Estimación del indicador de pobreza por localidad urbana

Estimación directa

El proceso de estimación en las localidades se llevó a cabo en dos etapas, la estimación directa y la estimación por modelos. En la primera, se estimó el porcentaje de personas en situación de pobreza en las localidades urbanas. De acuerdo con el esquema siguiente:

⁶ De acuerdo con los Principales resultados por AGEB y manzana urbana del Censo de Población y Vivienda 2020, una localidad urbana es aquella que tiene una población mayor o igual a 2 500 habitantes o que es cabecera municipal, independientemente del número de habitantes.

⁷ De acuerdo con la Medición de pobreza en los municipios de México, 2020.



El proceso que se siguió, en la primera etapa, para generar información a nivel localidad se resume en: la estimación de la incidencia de pobreza, a partir de la medición de pobreza en los municipios de México 2020, en particular se usaron: a) las simulaciones de pobreza para cada persona que se obtuvieron para estimar la pobreza municipal⁸, b) la base de privaciones sociales, y c) la base de los pesos calibrados; para la identificación de claves de las localidades urbanas se contó con el apoyo de Inegi, ya que estas no se encuentran disponibles en las bases de datos del Censo de Población y Vivienda 2020⁹.

Con el propósito de generar información con una precisión estadística adecuada, se implementaron criterios para poder aceptar o rechazar la estimación directa, basados en factores que se relacionan con la precisión estadística, el tamaño de muestra, tasa de no respuesta y los métodos de calibración implementados por el CONEVAL. Estos criterios se enlistan a continuación:

- A. El coeficiente de variación¹⁰ en la estimación de pobreza es menor o igual al 30%,
- B. La razón entre la población total¹¹ y la población calibrada¹² y viceversa, es menor o igual a 2,

⁸ Para más información, consultar la Metodología para la medición de la pobreza en los municipios de México, 2020, disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Pobreza_municipal/2020/Metodologia_pobreza_municipal_2020.pdf

⁹ Los microdatos de la muestra del Censo de Población y Vivienda 2020 no proveen variables sobre la localidad en la que se levantó la información, por lo que, se solicitó el apoyo del INEGI para identificar las localidades urbanas del levantamiento.

¹⁰ Este coeficiente de variación (CV) es el producto entre el CV del indicador de pobreza con error estándar (según el diseño muestral) y el factor de cambio (1.966). Este factor de cambio es entre el CV con error estándar y el CV con Error cuadrático medio, según la metodología del CONEVAL de la medición de pobreza a nivel municipal.

¹¹ Totales poblacionales, según los principales resultados a nivel AGEb y manzana del CPV 2020.

¹² La calibración es un proceso estadístico que permite que las estimaciones de pobreza a escala municipal sean consistentes con los resultados a nivel estatal estimados directamente a partir del MEC del MCS-ENIGH.

- C. La tasa de no respuesta¹³ es menor a 0.3 y
- D. La fracción de muestreo¹⁴ es mayor o igual a:
 - i. 10% en localidades con menos de 2,500 habitantes
 - ii. 5% en localidades de 2,500 a 14,999 habitantes
 - iii. 5% en localidades de 15,000 a 49,999 habitantes
 - iv. 1% en localidades de 50,000 a 99,999 habitantes
 - v. 1% en localidades de 100,000 habitantes o más.

Estimación por modelos

En las localidades en las que no se cumplieron simultáneamente los cuatro criterios anteriores o donde no hubo muestra suficiente para calcular el indicador de pobreza, se estimó la incidencia de la pobreza a través de un modelo de Regresión Geográficamente Ponderada (GWR por sus siglas en inglés)¹⁵, y se utilizó como información auxiliar:

- Principales resultados por localidad (ITER) 2020 (Inegi),
- Principales resultados por AGEB y manzana urbana 2020 (Inegi),
- Características del entorno urbano 2020 (Inegi), e
- Índice rezago social a nivel localidad 2020 (Coneval)

Es decir, la segunda etapa consistió en implementar un modelo de regresión espacial (GWR¹⁶), que se caracteriza por estimar modelos locales mediante mínimos cuadrados, y ponderar cada observación con una función decreciente de su distancia al punto de estimación. Pertenece a la categoría de modelos con coeficientes variables, ya que estos no son fijos, sino que dependen de las coordenadas geográficas de las observaciones (ver Anexo).

¹³ La no respuesta se refiere a la proporción de muestra perdida porque no se tenía información en al menos una de las variables consideradas en la medición multidimensional de pobreza a nivel municipal (indicadores de las carencias sociales y covariables para los modelos de estimación).

¹⁴ La fracción de muestreo es la proporción del tamaño de muestra (número de personas captadas en la muestra del CPV 2020 en la localidad urbana) respecto al tamaño de la población (población total en la localidad urbana).

¹⁵ También se exploró el modelo de *Kriging* y *Cokriging*, sin embargo, por la configuración espacial de las localidades urbanas, el GWR fue el de mejores resultados.

¹⁶ El modelo utiliza la siguiente hipótesis: cuanto más cerca estén dos observaciones desde el punto de vista geográfico, más similar será la influencia de las variables explicativas sobre la variable dependiente, es decir, más cercanos serán los coeficientes de los parámetros explicativos de la regresión. Esta técnica se utiliza con mayor frecuencia para la predicción espacial que para la inferencial.

Para la estimación del indicador de pobreza se dividió al territorio nacional en siete agrupaciones de entidades federativas y que estrictamente presentaran contigüidad espacial¹⁷; esta agrupación se realizó únicamente con el propósito de que los porcentajes de localidades a estimar por modelo permanecieran consistentes en proporción, es decir, que no hubiese alguna agrupación en las que el indicador de pobreza por localidad urbana se tuviera que modelar en mayor proporción a la estimación directa (ver Cuadro 1).

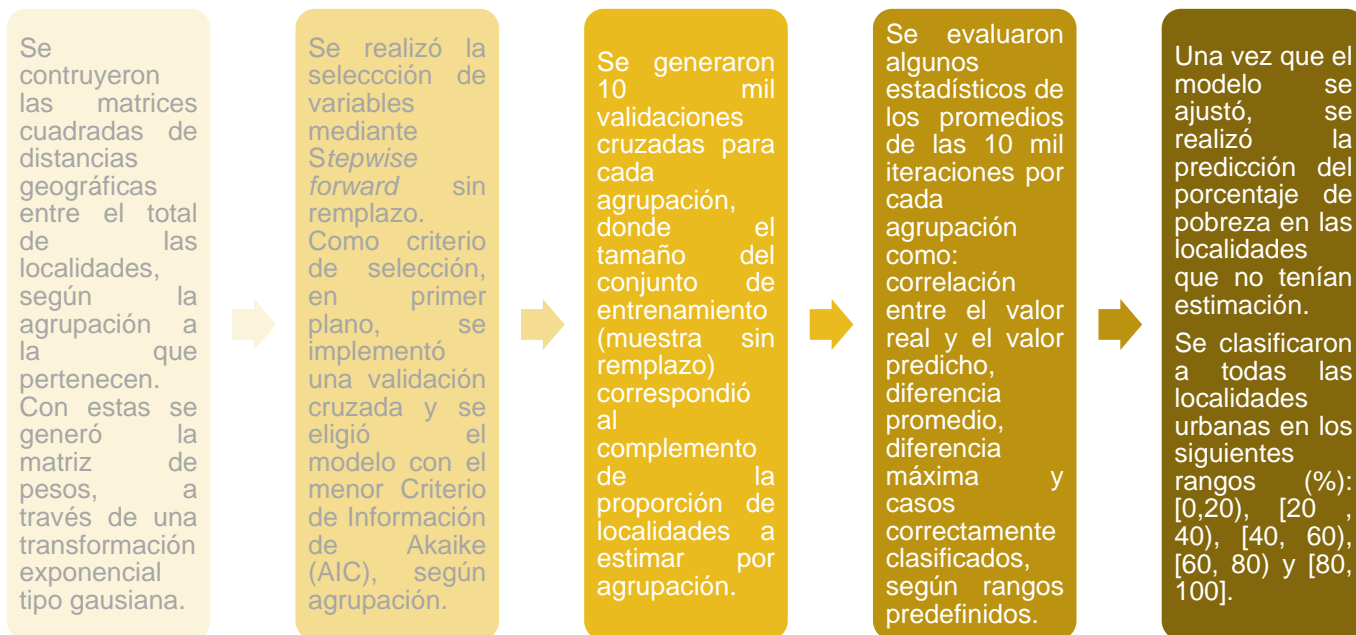
Cuadro 1. Número de localidades urbanas, según agrupación y forma de estimación

Agrupación	Número de localidades	Número de localidades	
		Con estimación directa	A estimar por modelo
1	500	370 (74%)	130 (26%)
2	422	291 (69%)	131 (31%)
3	491	346 (70.5%)	145 (29.5%)
4	1,543	1,024 (66.4%)	519 (33.6%)
5	928	659 (71%)	269 (29%)
6	1,008	937 (93%)	71 (7%)
7	342	229 (67%)	113 (33%)
Total	5,234	3,856 (73.7%)	1,378 (26.3%)

Fuente: estimaciones del CONEVAL con base en la Medición de pobreza en los municipios de México, 2020, y los Principales resultados por localidad (ITER) 2020, Inegi.

¹⁷ Se define como dos espacios colindantes o adyacentes, que poseen un borde en común. (Anselin y Morrison, 2019).

Para las 1,378 localidades urbanas a estimar por el modelo GWR, se aplicó la metodología siguiente:



Este proceso consideró algunos factores que incidieron de forma positiva en la eficiencia de la GWR para la estimación de pobreza por localidad urbana¹⁸, entre los que destacaron: i) la dispersión de las localidades en el país sugirió que la distancia entre estas es un elemento diferenciador para la estimación del indicador; ii) el conjunto de variables permitió incorporar la heterogeneidad en las agrupaciones de entidades federativas, estas fueron de tipo sociodemográfico, de infraestructura, disponibilidad de servicios y del entorno; iii) la validación cruzada es un método que ayudó a establecer un nivel de confianza empírico promedio para la predicción; iv) el uso de criterios estadísticos estandarizados proporcionó evidencia para la elección del modelo final; y v) la clasificación por rangos tomó en cuenta el diseño muestral de la fuente primaria de datos, ya que el error de estimación, generalmente, se incrementa al desagregar la información.

¹⁸ Para cada agrupación de entidades se realizaron 10 mil validaciones cruzadas donde se obtuvieron correlaciones superiores a 0.85, las diferencias máximas promedio eran menores a 32%; en todos los modelos, tanto la cantidad de variación explicada por el modelo como los casos correctamente clasificados promedio fueron superiores a 70%; el promedio del error de predicción cuadrático medio (MSPE) y el promedio del error medio cuadrático (RMSE) registraron valores inferiores a 0.01. Por otro lado, el ajuste del modelo presentó correlaciones superiores a 0.91, con diferencias máximas, en menor frecuencia, de hasta 33%, el porcentaje de casos correctamente clasificados osciló entre 73.9% y 85.6%. Es importante destacar que en ninguna agrupación de entidades federativas se presentaron estimaciones que difirieran en más de dos niveles (rangos) del valor real.

Alcances y limitaciones

La estimación de pobreza por localidad urbana 2020 es una herramienta que amplía y complementa el estudio de la pobreza a distintas escalas geográficas. El CONEVAL provee información desde la escala nacional hasta la local, la cual robustece el diagnóstico y análisis de este fenómeno. Sin embargo, es necesario señalar que, a mayor nivel de desagregación, la fuente de información primaria requiere tener características específicas para implementar tanto la Metodología para la medición multidimensional de la pobreza, como los métodos y técnicas estadísticas de estimación que permitan proveer de información en mayores niveles de desagregación en materia de pobreza y desarrollo social.

Bibliografía

Anselin, L. and Morrison G. (2019). Contiguity-Based Spatial Weights. RNotes. University of Chicago, Center for Spatial Data Science

De Bellefon, M-P., Floch, J-M. (2018). Geographically Weighted Regression. Handbook of Spatial Analysis. Theory and Application with R. Insee Méthodes, N°131, pp. 231-254. Recuperado a partir de: <https://www.insee.fr/en/information/3635545>

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) (2014). Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México (2ª edición). México

_____ (2017). Metodología para la medición de la pobreza en los municipios de México, 2015.

_____ (2019). Pobreza urbana en México, 2015.

Recuperado de:

<https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/POBREZA-URBANA-EN-MEXICO-2015.aspx>

_____ (2021). Índice de rezago social, 2020.

Recuperado de:

https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2020.aspx

Consejo Nacional de Población (Conapo) (2010). Índice de marginación por localidad.

Recuperado de:

http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/indices_de_marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio

_____ (2021). Índice de marginación por localidad, 2020.

Recuperado de:

<https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

Gollini, I., Lu, B., Charlton, M., Brunsdon, C. & Harris, P. (2015). GWmodel: An R Package for Exploring Spatial Heterogeneity Using Geographically Weighted Models. *Journal of Statistical Software*, 63(17),1-50. Recuperado a partir de: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v063i17>

Harris, P., Fotheringham, A.S., Crespo, R. et al. The Use of Geographically Weighted Regression for Spatial Prediction: An Evaluation of Models Using Simulated Data Sets. *Math Geosci* 42, 657–680 (2010). Recuperado a partir de: <https://doi.org/10.1007/s11004-010-9284-7>

Herod, A. (2003). Scale: the local and the global. Key concepts in geography, pp. 229-234.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2020). Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades.

Leong, YY., Yue, J.C. A modification to geographically weighted regression. *International Journal of Health Geographics* 16, 11 (2017). <https://doi.org/10.1186/s12942-017-0085-9>.

Lu, Binbin., Harris, Paul et al. (12 de octubre de 2022). Package “GWmodel”, pp. 72. Recuperado a partir de: <https://cran.r-project.org/web/packages/GWmodel/GWmodel.pdf>

Model selection for GWR with a given set of independent variables. Recuperado a partir de: <https://rdrr.io/cran/GWmodel/man/gwr.model.selection.html>

RDocumentation. gwr.predict: GWR used as a spatial predictor. Recuperado a partir de: <https://www.rdocumentation.org/packages/GWmodel/versions/2.2-9/topics/gwr.predict>

Reyes Piedra, B.V. (2015). Análisis de los Factores que inciden en los accidentes viales en el Distrito Federal, mediante una regresión Geográfica ponderada. [Reporte final, especialidad en cartografía automatizada, teledetección y sistemas de información geográfica, Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía]. Repositorio Institucional (RI). UAEM.

Soto Estrada, E. (2013). Regresión ponderada geográficamente para el estudio de la temperatura superficial en Medellín, Colombia. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y práctica*, 6(3), 42–53. Recuperado a partir de: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/43775>

Anexo

El modelo teórico de regresión geográficamente ponderada implementado fue el siguiente:

$$Y = (\beta \otimes X)1 + \varepsilon$$

Y: vector $n \times 1$ de la variable dependiente, en este caso el porcentaje de pobreza

X: matriz $n \times (p + 1)$ de p variables explicativas y una constante

1: vector $(p + 1) \times 1$ de valores uno

Los coeficientes β del modelo pueden expresarse en forma de matriz:

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0(u_1, v_1) & \dots & \beta_p(u_1, v_1) \\ \beta_0(u_j, v_j) & \dots & \beta_p(u_j, v_j) \\ \beta_0(u_n, v_n) & \dots & \beta_p(u_n, v_n) \end{bmatrix}$$

El operador \otimes multiplica cada componente de la matriz de coeficientes β por el elemento correspondiente de la matriz X que contiene las características de las observaciones.

Para dar un peso a las observaciones, decreciente con su distancia al punto de interés, se realiza una estimación mediante mínimos cuadrados ponderados, estando la ponderación a cargo de la matriz de pesos $W_{(u_i, v_i)}$ (donde la matriz $W_{(u_i, v_i)}$ contiene el peso de cada observación según su distancia transformada al punto i de las coordenadas geográficas (u_i, v_i)).

De acuerdo con el principio de mínimos cuadrados ponderados, los coeficientes $\hat{\beta}_{(u_i, v_i)}$ en el punto de coordenadas geográficas (u_i, v_i) minimizan la suma siguiente:

$$\sum_{j=1}^n w_j(i) (y_i - \beta_0(u_i, v_i) - \beta_1(u_i, v_i)x_{j1} - \dots - \beta_p(u_i, v_i)x_{jp})^2$$

Por lo que, la estimación de los parámetros β es

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W_{(u_i, v_i)} X)^{-1} X^T W_{(u_i, v_i)} Y$$

Así, $\hat{Y} = SY$, donde S es matriz estimada, y se define de la siguiente manera; observe que $x_i^T = (1 \ x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{ip})$ corresponde a la columna i de la matriz de variables explicativas X . Entonces:

$$S = \begin{bmatrix} x_1^T X^T W_{(u_1, v_1)} X)^{-1} X^T W_{(u_1, v_1)} \\ \vdots \\ x_n^T X^T W_{(u_n, v_n)} X)^{-1} X^T W_{(u_n, v_n)} \end{bmatrix}$$