

3 Metodología del grado de accesibilidad de las localidades a centros urbanos

3.1. Justificación

El análisis de la accesibilidad de las localidades es un tema de gran relevancia para la investigación social, la planificación y el ordenamiento territorial. Algunos de sus efectos más importantes se relacionan con el acceso diferencial a oportunidades de empleo, compra-venta de productos, uso de infraestructura y servicios, como educación, salud, abasto, recreación y cultura, entre otros, que definen el nivel y calidad de vida de la población. Mientras que su bajo nivel incide en la agudización de las carencias, como la falta de alternativas productivas, bienes y servicios básicos, incrementando con ello la vulnerabilidad sociodemográfica de la población, tanto a fenómenos sociales como naturales.

En este contexto, el diseño e implementación de políticas públicas y programas sociales dirigidos a mejorar y ampliar la infraestructura y elevar el acceso a bienes y servicios básicos, requiere de una base territorial que permita establecer prioridades de atención fundamentadas en las diferencias de accesibilidad de las localidades.

En términos de la estructura funcional del territorio, el presente estudio asume que el sistema de asentamientos humanos se organiza de manera jerárquica en función del tamaño de las localidades y de su papel como centros proveedores de empleo, bienes y servicios. En este sistema, la población de las localidades más pequeñas satisface parte importante de sus necesidades sociales acudiendo en primera instancia a las de tamaño intermedio más próximas, mientras que se traslada a las localidades más

grandes para acceder a empleos, bienes y servicios especializados, como la educación superior, servicios médicos de tercer nivel, trabajos calificados, recursos culturales, etcétera.

Específicamente, la ubicación espacial de las localidades, el tamaño de su población y su posición particular como nodos principales de la RNC (INEGI y SCT/IMT, 2020) son atributos esenciales para determinar su grado de accesibilidad a centros urbanos, y con base en ello analizar las diferencias que prevalecen al interior del país, las cuales, a su vez, tienen implicaciones importantes en las oportunidades de desarrollo económico y humano de sus habitantes.

A partir de estos argumentos, el presente estudio se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar una medida de accesibilidad-aislamiento geográfico que sintetice el tiempo de traslado de las localidades del país a distintos órdenes de centros urbanos.

Objetivos específicos

1. Diseñar un modelo de análisis geoespacial que permita determinar la distancia física (longitud) y el tiempo de traslado entre orígenes y destinos del sistema de localidades de México.
2. Calcular el tiempo de traslado de las localidades a distintos destinos urbanos, con base en la ubicación espacial, el tamaño

de la población, la conexión y articulación entre las localidades a través de la RNC.

3. Cuantificar el número de localidades y la población por grado de accesibilidad-aislamiento geográfico a centros urbanos, para diferentes ámbitos territoriales de interés.
4. Analizar las condiciones de accesibilidad-aislamiento geográfico de las localidades y su población en diferentes contextos sociodemográficos.
5. Proporcionar los conjuntos de datos geospaciales y estadísticos derivados de este proyecto, a diferentes niveles de desagregación geográfica.

3.2. Fuentes de datos y métodos

3.2.1. Universo de estudio

La población objetivo de este proyecto es el conjunto completo de localidades habitadas en 2020, especificadas en el producto estadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) titulado: Principales resultados por localidad (ITER) del censo de población y vivienda del mismo año (INEGI, 2021c), cuyo número asciende a 189 432, donde residían 126 014 024 personas.

El archivo correspondiente está formado por un registro por localidad con nueve datos de identificación geográfica, así como 276 indicadores con las características de la población, los hogares censales y las viviendas. Sin embargo, debido al principio de confidencialidad estipulado en la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIIEG), que entre otras regulaciones limita la publicación de información para unidades geográficas con menos de tres viviendas, las únicas variables que tienen información completa para todas las localidades habitadas del país, además de los datos de identificación geográfica, son: población total, total de viviendas, total de viviendas habitadas y tamaño de localidad. Adicionalmente, se creó un campo de identificación único

compuesto por la concatenación de las claves de entidad federativa, municipio y localidad, que funciona como llave primaria para la incorporación y procesamiento de información geoespacial.

3.2.2. Especificación de los orígenes y los destinos

La medida de accesibilidad-aislamiento geográfico propuesta en este proyecto es una medida que busca sintetizar el tiempo de traslado a centros urbanos de distinto tamaño, para cada una de las localidades del país. En este sentido, se trata de una medida de accesibilidad basada en la ubicación que considera dos de los cuatro componentes fundamentales de la accesibilidad (véase capítulo 2): i) el sistema de uso del suelo y ii) el sistema de transporte.

El primero comprende la localización y características tanto de los lugares de origen como de destino, es decir, donde se encuentra asentada la demanda y donde se accede a oportunidades económicas y sociales de distinto tipo, respectivamente. En el caso de los orígenes, estos corresponden al universo de localidades habitadas y la población total de cada una es considerada como la demanda potencial asociada a cada origen.

En términos de su localización, si bien el archivo de datos del ITER contiene las coordenadas geográficas —longitud y latitud— de cada localidad, susceptibles de representarse como puntos en un mapa, se integró toda la información geoespacial en un mismo sistema de referencia de coordenadas planas, específicamente el que utiliza el Marco Geoestadístico (MG) del INEGI (2021b) para referir geográficamente los datos estadísticos de censos y encuestas, con proyección cartográfica Cónica Conforme de Lambert (CCl) y *datum* de referencia ITRF 2008, con los siguientes parámetros:

- ◆ Elipsoide: GRS80
- ◆ Meridiano origen: 102° 00' 00" O
- ◆ Latitud origen: 12° 00' 00" N
- ◆ Primer paralelo estándar: 17° 30' N

- ◆ Segundo paralelo estándar: 29° 30' N
- ◆ Falso Este: 2 500 000
- ◆ Falso Norte: 0

Esta proyección también se aplicó a los archivos vectoriales de la RNC y al archivo ráster del modelo digital de elevación del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) 3.0 (INEGI, 2013), que originalmente se encuentran en coordenadas geográficas. Cabe señalar que en el archivo vectorial del MG, los puntos de localidad se ubican sobre edificaciones o en la parte central de manzanas, zócalos o plazas cívicas. Mientras que, en el archivo vectorial de la RNC, los puntos de localidad se encuentran casi en su totalidad conectados con uno o más elementos de la red vial, con el fin de ubicar los orígenes y destinos de interés en la determinación de rutas. Por esta razón se decidió primero unir la información del ITER al archivo vectorial de localidades de la RNC, y solo para aquellas localidades del ITER que no empataron con las de la RNC, se utilizó el archivo vectorial de localidades rurales puntuales del MG (véase figura 3.1).

De esta forma, de las 189 432 localidades habitadas, 185 950 (98.2%) corresponden a puntos de localidad de la RNC y únicamente 3 482 localidades (1.8%) a puntos de localidad del MG. Esta información se unió en un solo archivo vectorial de localidades origen de cobertura nacional, en el que se especifica la fuente de información de donde se obtuvo el punto de cada localidad: RNC o MG.

Posteriormente, este archivo se particionó en 32, uno por cada entidad federativa, con el fin de facilitar su uso y no comprometer los recursos de cómputo empleados en su procesamiento y análisis ulterior.

En el caso de los destinos, y ante la escasez de información económica sobre las características de la ocupación y el empleo a nivel localidad, que data desde el censo de 2010 y que se mantiene en 2020, se optó por analizar la relación entre el tamaño de las localidades y las oportunidades económicas que estas ofrecen, en términos de las tasas de participación económica de los hombres y

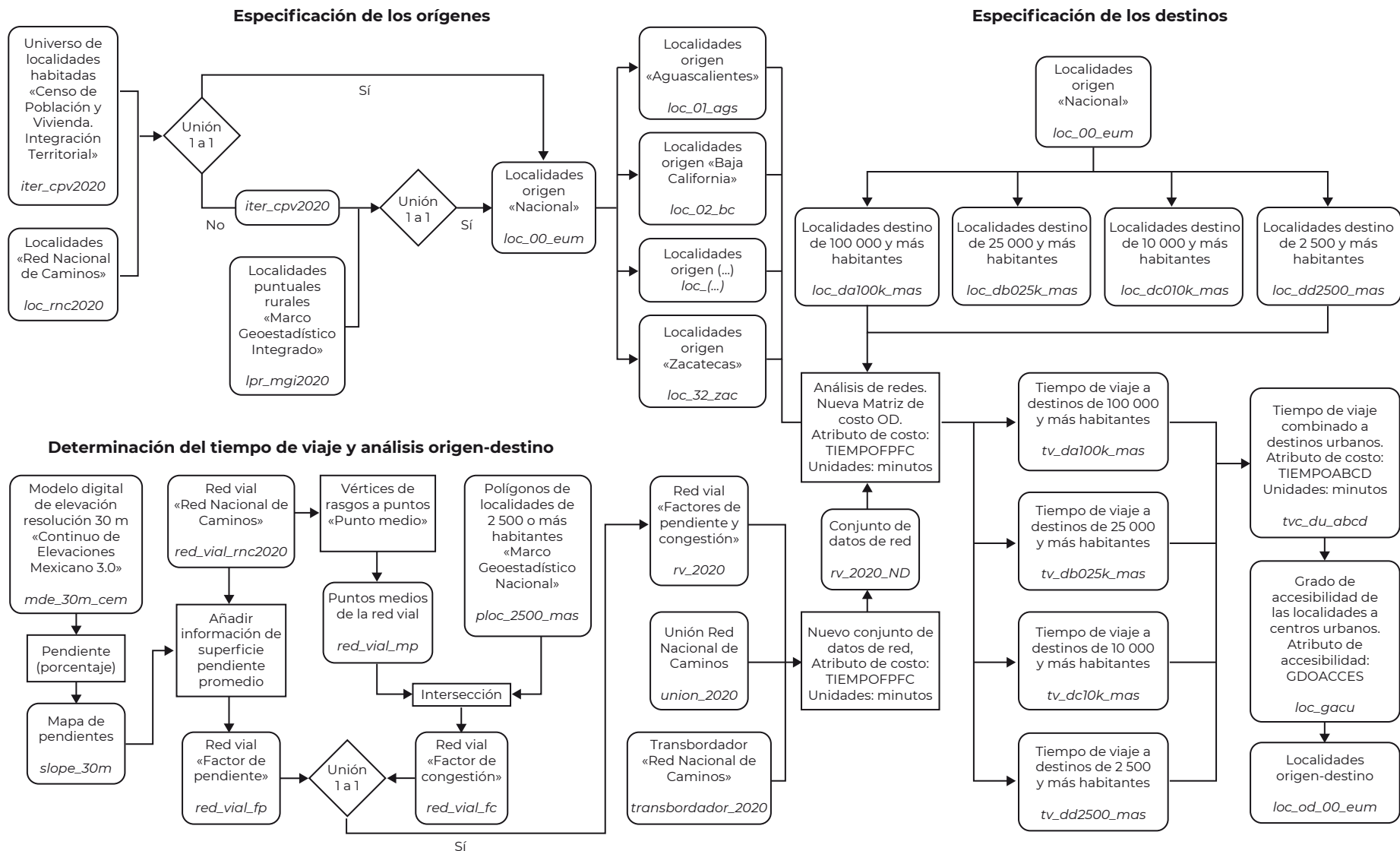
las mujeres en edad laboral, con el fin de determinar umbrales de tamaño de la población estadísticamente significativos.

En el ámbito nacional la tasa de participación de los hombres asciende a 76.2 y la de las mujeres a 49.1 por ciento, con una brecha entre ambos grupos de 27 puntos porcentuales. Esta brecha se amplía a 43 puntos porcentuales en las localidades de menos de 250 habitantes y se reduce a 22 puntos en las localidades 100 mil y más. El análisis de la varianza de este indicador que resulta de clasificar los 17 tamaños de localidad de partida, en seis estratos homogéneos a su interior, permite identificar cuatro grupos con las menores brechas de participación económica entre hombres y mujeres, a saber: localidades de 2 500 a 9 999 habitantes (31 puntos porcentuales), localidades de 10 mil a 24 999 (27 puntos), localidades de 25 mil a 99 999 (25 puntos) y localidades de 100 mil habitantes y más (22 puntos porcentuales). Por lo que se considera que estos cuatro umbrales son representativos de las diferencias en las oportunidades económicas y sociales que ofrecen las localidades de destino.

Así, a partir del archivo de localidades origen nacional se obtuvieron cuatro archivos de localidades destino (véase figura 3.1):

1. Localidades destino de 100 mil y más habitantes (tipo A)
2. Localidades destino de 25 mil y más habitantes (tipo B)
3. Localidades destino de 10 mil y más habitantes (tipo C)
4. Localidades destino de 2 500 y más habitantes (tipo D)

Figura 3.1.
Procesamiento de información geoespacial para el análisis de la accesibilidad de las localidades



■ Fuente: Elaboración del CONAPO, IMT y CentroGeo con base en el INEGI, censo 2020 e INEGI y SCT/IMT, RNC 2020.

3.2.3. Red Nacional de Caminos 2020

El sistema de transporte, segundo componente de la medida de accesibilidad propuesta en el presente estudio, comprende la localización y características de la infraestructura, la cual se encuentra contenida en la información de la RNC. La RNC es la representación cartográfica digital y georreferenciada de la infraestructura vial del país con alta precisión y escala de gran detalle; modelada y estructurada con el fin de facilitar el cálculo de rutas. Está conformada bajo estándares internacionales y el riguroso marco normativo aplicable del SNIEG, mismo que permite la interoperabilidad con alcances multitemático y plurisectorial. Su relevancia queda manifiesta, ya que el transporte por vía terrestre, desplaza 55.6 por ciento de la carga y 95.7 por ciento de los pasajeros dentro de la distribución modal de viajes. El autotransporte es el principal modo de transporte del país, participa con 5.6 por ciento del PIB nacional y contribuye con una proporción superior a 83 del PIB del sector transportes (SCT, 2020).

La RNC integra el total de la red pavimentada y la mayor parte de los caminos no pavimentados de México. Las redes caminearas articulan al territorio y estratifican los espacios a partir de las posibilidades de enlace y comunicación de la población. La RNC 2020 se erige como la malla fundamental en el modelo de análisis geoespacial desarrollado para determinar la accesibilidad-aislamiento del sistema de localidades de México. Los caminos rurales de bajas especificaciones (terracerías, revestidos y brechas) revelan elementos para afinar las políticas públicas dirigidas a combatir la pobreza, atenuar las desigualdades sociales y, sobre todo, focalizar con mayor tino las acciones de atención a los desequilibrios con perspectiva territorial.

3.2.3.1. Desarrollo y estructura de la RNC

En 2014 se declaró a la RNC como información de interés nacional, acorde a la Ley del SNIEG, por lo que la SCT/IMT y el INEGI tienen asignada la tarea de actualizarla de forma regular y periódica (DOF, 2014), para lo cual se establecieron los mecanismos de seguimiento y participación interinstitucional, acceso, difusión y uso, así como el esquema de gestión y aseguramiento de la calidad y confiabilidad de la información.

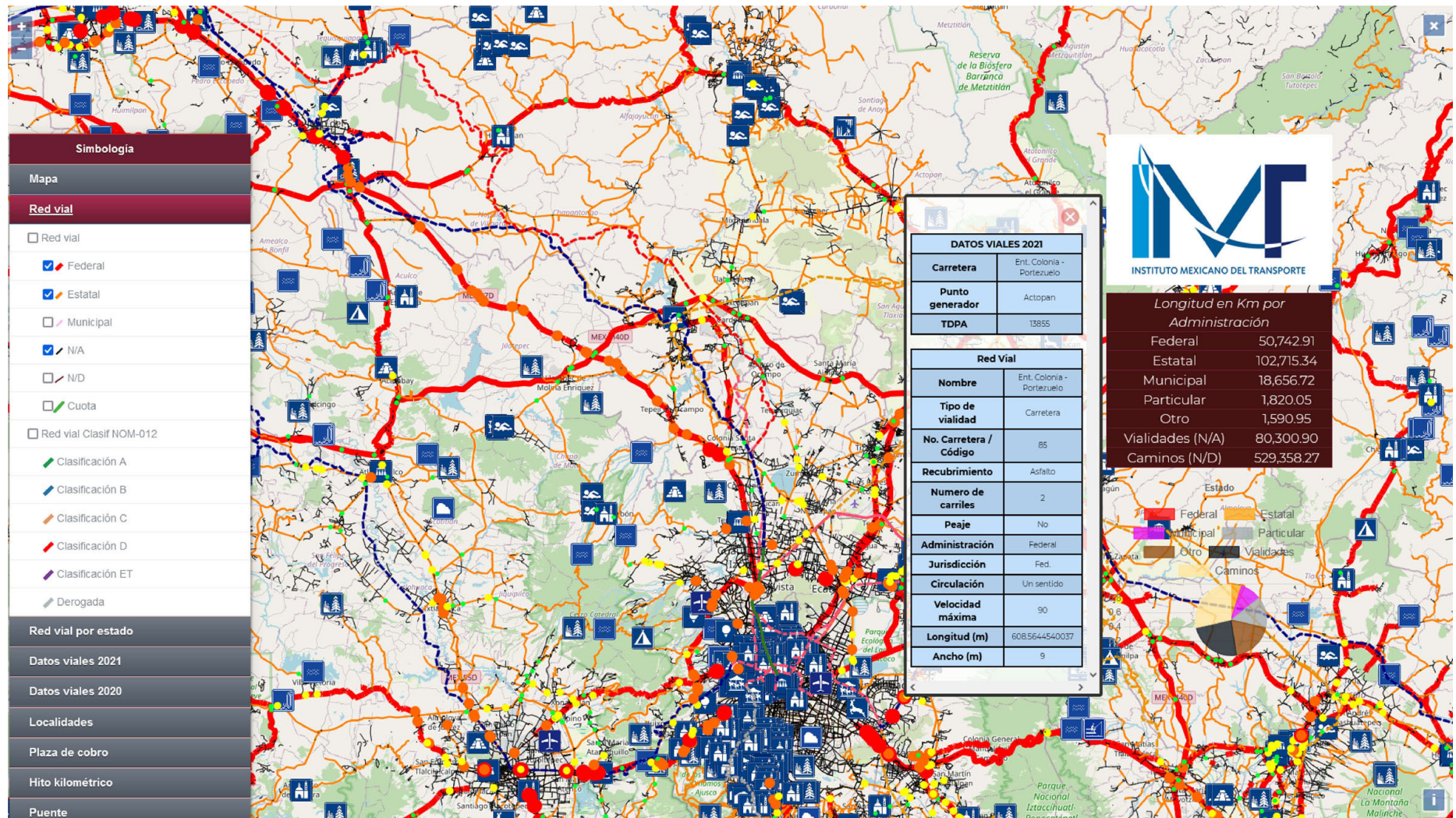
El proceso general de revisión, corrección, edición y validación culmina con la integración a nivel nacional, asegurando la continuidad geométrica, de atributos (jurisdicciones, jerarquías, circulación, etc.) y de las relaciones topológicas de los elementos de infraestructura considerados, para garantizar así sus funciones para ruteo aleatorio.

La RNC 2020 se sintetiza en las siguientes cifras (figura 3.2):

- ◆ La longitud total es de 780 509 km,
- ◆ 174 779 km de carreteras pavimentadas,
- ◆ 50 685 km de carreteras federales,
- ◆ 102 719 km de carreteras estatales,
- ◆ 21 375 km de otras carreteras (municipales, particulares), y
- ◆ 527 345 km de caminos no pavimentados.

La mayor longitud de carreteras y caminos, por entidad federativa, corresponde en orden decreciente a: Chihuahua, Sonora, Veracruz, Jalisco, Chiapas, Oaxaca, Durango, Michoacán, Tamaulipas y Guerrero.

Figura 3.2.
Cartografía de gran escala y multitemática



■ Fuente: IMT (2022a).

3.2.3.2. Aportes y aplicaciones de la RNC

La RNC se constituye como la fuente oficial, única y de uso obligatorio (DOF, 2014) que contiene los elementos físicos restrictivos y funcionales para la circulación, además de que garantiza la conectividad con las 4 532 localidades urbanas, 287 915 rurales y 22 751 sitios de interés; cuenta además con un Visualizador Geocartográfico (IMT, 2022a).

La RNC se ha constituido en la plataforma para múltiples usos, tales como:

- ◆ Plataforma para la planeación y gestión territorial del transporte
- ◆ Identificación de rutas óptimas y modelación logística de las empresas
- ◆ Insumo determinante en la atención de emergencias y desastres
- ◆ Aportar elementos precisos para la construcción de indicadores de desempeño
- ◆ Actualización de cartografía topográfica y atlas de carreteras

Además, es la base para incorporar información de muchas dependencias y organismos gubernamentales (Secretaría de Bienestar, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Petróleos Mexicanos, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, entre otras).

3.2.4. Determinación del tiempo de viaje

El archivo vectorial de la red vial contenida en el conjunto de datos de la RNC está compuesto por elementos lineales que representan las vías de transporte terrestre destinadas para el tránsito

vehicular y/o peatonal (INEGI y SCT/IMT, 2020:8). Cuenta con atributos asociados que permiten distinguir las características de los elementos que la conforman, como: tipo de vialidad, nombre oficial, número de carriles, sentido de circulación vehicular, etc.

Específicamente, los atributos de tipo de vialidad, velocidad y longitud fueron utilizados para calcular el tiempo de viaje asociado a cada elemento de la red vial, en el cual también se incluyeron dos factores de fricción, uno asociado a la pendiente del terreno y otro al tráfico o congestión en áreas urbanas, pues como Brezzi *et al.* (2011) señalan, los tiempos de traslado entre un origen y un destino están influenciados por estos factores.

3.2.4.1. Factor de pendiente

El factor de pendiente se construyó a partir del modelo digital de elevación de cobertura nacional, con resolución espacial de 30 metros, obtenido del CEM 3.0, disponible en el portal de internet del INEGI (2013). El CEM es un producto que representa las elevaciones del territorio continental mexicano en formato ráster, mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas (x,y) a las que se le integran valores que representan las elevaciones (z) en metros sobre el nivel medio del mar.

El procedimiento consistió en obtener el mapa de pendientes en porcentaje, a partir del modelo digital de elevación, y añadir esta información, específicamente la pendiente promedio correspondiente a cada segmento, como atributo de la red vial (véase figura 3.1). Con ello se asignó un coeficiente o ponderador (véase cuadro 3.1), que busca representar el efecto de la pendiente sobre el tiempo de viaje a lo largo de la red vial, de acuerdo con lo establecido en los manuales de proyecto geométrico de carreteras de la SCT (1984 y 2013).

Cuadro 3.1.
Coeficientes del factor pendiente

Rango de pendiente	Coeficiente
Menos de 5 por ciento	1.0
Entre 5 y menos de 10 por ciento	1.2
10 por ciento y más	1.5

Fuente: Elaboración propia con base en la SCT (1984 y 2013).

3.2.4.2. Factor de tráfico o congestión

Este factor busca dar cuenta del efecto que tiene el tráfico vehicular en los desplazamientos que transitan por áreas urbanas. El procedimiento consistió en identificar los elementos de la red vial que están totalmente o en su mayor parte contenidos en los polígonos de localidades de 2 500 y más habitantes. Para ello, se obtuvo una capa de puntos que corresponde al punto medio de cada segmento de la red; y esta se intersectó con la capa de localidades obtenida del archivo vectorial (polígonos) del MC del censo 2020 (véase figura 3.1).

A todos los elementos de la red vial cuyo punto medio no se intersecta con ninguna localidad de 2 500 y más habitantes se les asignó un coeficiente de 1.0; mientras que a aquellos segmentos cuyo punto medio sí se intersecta se les asignó un coeficiente que va de 1.5 a 2.0, en función del tipo de vialidad (véase cuadro 3.2).

Cuadro 3.2.
Coeficientes del factor de tráfico o congestión

Tipo de vialidad	Coeficiente
Carretera, corredor, periférico y viaducto	1.5
Avenida, boulevard, calzada, circuito, eje vial y prolongación	1.6
Ampliación, calle, camino, circunvalación, continuación y diagonal	1.7
Enlace y glorieta	1.8
Andador, callejón, cerrada, peatonal, privada, retorno, vereda y otro	2.0

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI y SCT/IMT (2020).

3.2.4.3. Tiempo ponderado de viaje

Finalmente, el tiempo ponderado de viaje en minutos para cada elemento de la red vial se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$TPV = \frac{LONGITUD \times FP \times FC}{VELOCIDAD \times \frac{1000}{60}}$$

donde:

TPV es el tiempo ponderado de viaje,

LONGITUD es la longitud en metros del elemento, cuyo valor forma parte de los atributos originales de la red vial,¹¹

FP es el factor de pendiente,

FC es el factor de congestión, y

VELOCIDAD es la velocidad en kilómetros por hora, cuyo valor también forma parte de los atributos de la red vial.¹²

¹¹ La longitud es calculada de forma planimétrica con proyección Cónica Conforme de Lambert (INEGI y SCT/IMT, 2020: 53).

¹² El dato de velocidad se registra por la necesidad de estimar tiempos de traslado en los sistemas de ruteo y su valor es aproximado en función de diversos

3.2.5. Análisis origen-destino

Para el cálculo de los tiempos de viaje de cada localidad origen a los cuatro tipos de destino, se utilizó la extensión “Análisis de redes” (*Network Analyst*) del software ArcGIS 10.6, de manera particular el tipo de análisis denominado “Matriz de coste OD”, el cual determina las rutas de menor coste (p. ej. longitud, tiempo, costo, etc.) entre un conjunto de orígenes y destinos determinados, a través de un conjunto de datos de red (*Network Dataset*).¹³

El conjunto de datos de red para este proyecto se construyó con tres archivos vectoriales (capas) de la RNC 2020 como fuente: red vial, transbordador y unión. Asimismo, se estableció como parámetro de coste para la determinación de las rutas más cortas entre orígenes y destinos, el tiempo ponderado de viaje descrito en el punto anterior (véase figura 3.1).

Una vez construido el conjunto de datos de red, se procedió al cálculo de las matrices origen-destino entre las localidades origen de las 32 entidades federativas y los cuatro tipos de destino de todo el país, es decir, se generaron 128 matrices. Para generar una matriz entre las localidades origen de una entidad federativa y las de destino de un determinado tipo (A, B, C, D), primero se cargaron los orígenes y después los destinos, a partir de su geometría y posición espacial como puntos, estableciendo una tolerancia de 30 metros en ambos casos para quedar conectados a la red. Esto dio como resultado un estatus de las localidades como orígenes y destinos que se encuentran localizados en el conjunto de datos de red (véase cuadro 3.3).

Como se puede observar, únicamente 5 258 localidades, con una población en conjunto de casi 148 mil habitantes, no se localizaron en la red, correspondiendo las mayores cantidades a Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Chihuahua y San Luis Potosí. Asimismo, se estableció como medida de impedancia el tiempo ponderado de viaje en minutos; mientras que se determinó encontrar un solo destino, el más cercano, para cada localidad.

La definición de los destinos A, B, C y D a partir de tamaños mínimos de población en orden descendente, asegura que para cada origen el tiempo ponderado de viaje a un destino determinado de orden superior, siempre será mayor o al menos igual, al de un destino de orden inferior, pero nunca menor. Es decir, para un determinado origen los tiempos de viaje quedan ordenados de manera coherente, de tal forma que:

$$TPV_{iA} \geq TPV_{iB} \geq TPV_{iC} \geq TPV_{iD}$$

La representación espacial de los tiempos de viaje a los cuatro tipos de destino se muestra en los mapas 3.1 a 3.4.

factores como el tipo de vialidad, el número de carriles, la sinuosidad, la urbanización, etc., a criterio del analista (INEGI y SCT/IMT, 2020: 52).

¹³ Una red es un sistema de elementos interconectados como enlaces (líneas) y nodos de conexión (puntos), que representa las posibles rutas desde una ubicación a otra (ESRI, 2021).

Cuadro 3.3.
República Mexicana. Número de localidades y población por entidad federativa según condición de localización en la RNC, 2020

Entidad federativa	Localidades			Población		
	Total	Localizada	No localizada	Total	Localizada	No localizada
Nacional	189 432	184 174	5 258	126 014 024	125 866 056	147 968
Aguascalientes	2 022	2 019	3	1 425 607	1 425 591	16
Baja California	5 545	5 292	253	3 769 020	3 765 044	3 976
Baja California Sur	2 543	2 441	102	798 447	796 997	1 450
Campeche	2 762	2 521	241	928 363	925 767	2 596
Coahuila de Zaragoza	4 034	4 004	30	3 146 771	3 146 419	352
Colima	1 226	1 220	6	731 391	731 368	23
Chiapas	21 157	19 901	1 256	5 543 828	5 498 887	44 941
Chihuahua	12 186	11 922	264	3 741 869	3 739 534	2 335
Ciudad de México	634	614	20	9 209 944	9 209 310	634
Durango	5 890	5 654	236	1 832 650	1 828 318	4 332
Guanajuato	8 809	8 762	47	6 166 934	6 166 448	486
Guerrero	6 769	6 657	112	3 540 685	3 538 270	2 415
Hidalgo	4 690	4 609	81	3 082 841	3 079 932	2 909
Jalisco	10 348	10 225	123	8 348 151	8 339 026	9 125
México	4 894	4 890	4	16 992 418	16 991 374	1 044
Michoacán de Ocampo	8 644	8 590	54	4 748 846	4 743 100	5 746
Morelos	1 578	1 574	4	1 971 520	1 971 458	62
Nayarit	2 850	2 635	215	1 235 456	1 229 633	5 823
Nuevo León	4 822	4 743	79	5 784 442	5 783 635	807
Oaxaca	10 723	10 143	580	4 132 148	4 107 344	24 804
Puebla	6 568	6 543	25	6 583 278	6 582 942	336
Querétaro	2 192	2 153	39	2 368 467	2 367 430	1 037
Quintana Roo	2 207	2 065	142	1 857 985	1 856 674	1 311

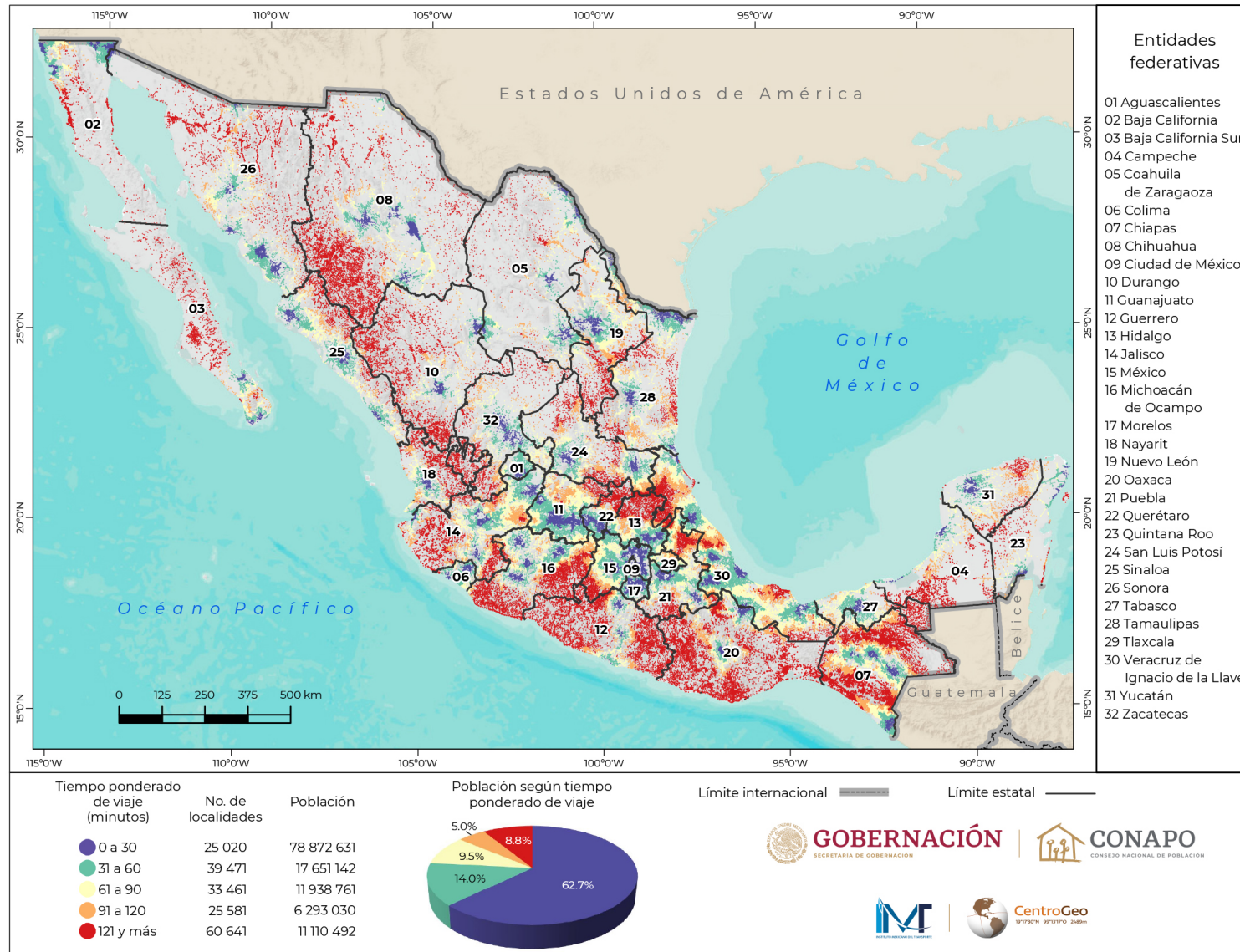
Continúa...

Cuadro 3.3.
República Mexicana. Número de localidades y población por entidad federativa según condición de localización en la RNC, 2020

Entidad federativa	Localidades			Población		
	Total	Localizada	No localizada	Total	Localizada	No localizada
San Luis Potosí	6 554	6 296	258	2 822 255	2 816 969	5 286
Sinaloa	5 495	5 366	129	3 026 943	3 025 977	966
Sonora	7 300	7 085	215	2 944 840	2 944 196	644
Tabasco	2 472	2 294	178	2 402 598	2 388 110	14 488
Tamaulipas	6 566	6 438	128	3 527 735	3 525 777	1 958
Tlaxcala	1 175	1 162	13	1 342 977	1 342 908	69
Veracruz de Ignacio de la Llave	19 845	19 516	329	8 062 579	8 055 062	7 517
Yucatán	2 434	2 377	57	2 320 898	2 320 672	226
Zacatecas	4 498	4 463	35	1 622 138	1 621 884	254

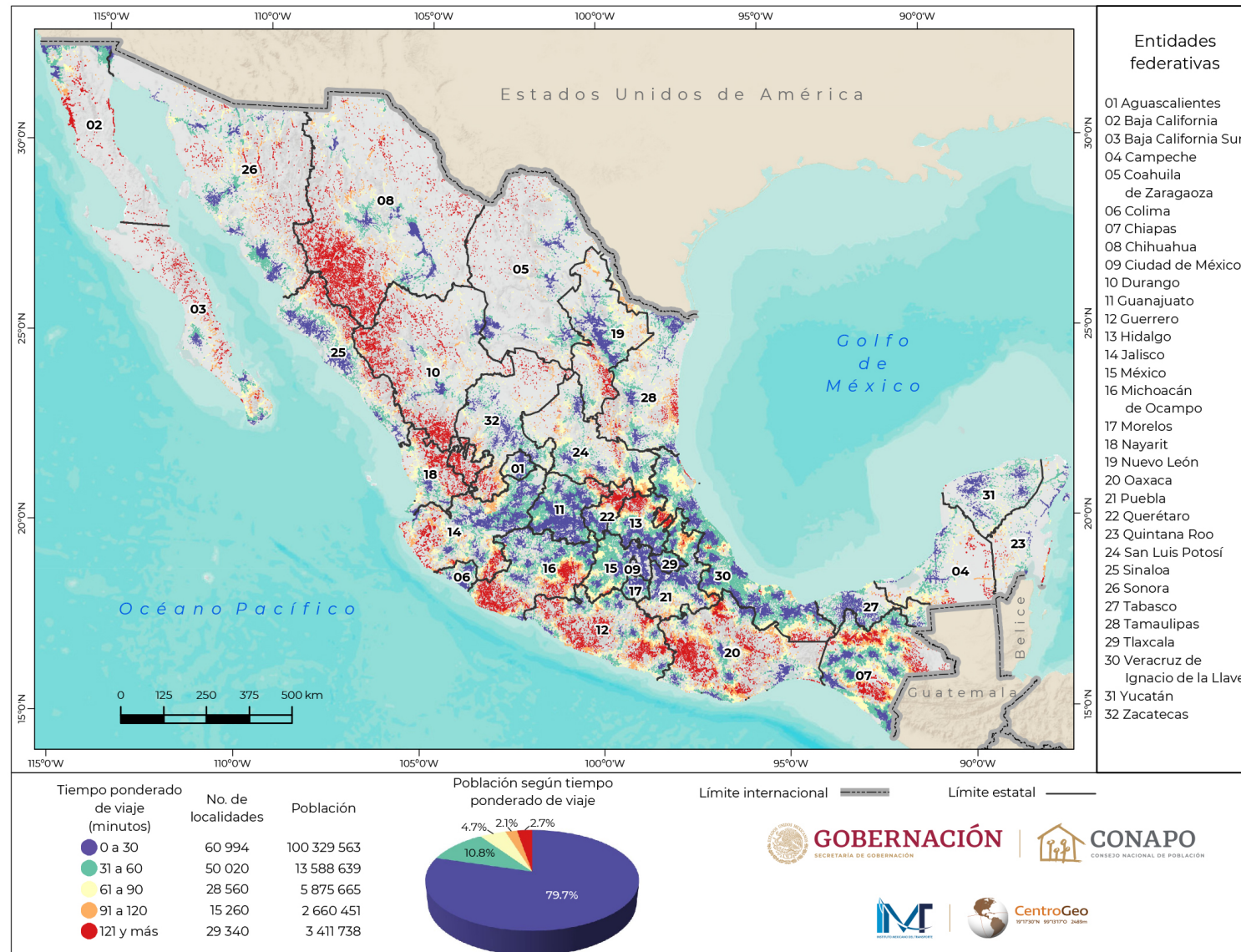
Fuente: Estimaciones del CONAPO, IMT y CentroGeo con base en el INEGI, censo 2020 (2021d) e INEGI y SCT/IMT, RNC 2020.

Mapa 3.1.
República Mexicana. Tiempo ponderado de viaje hacia localidades destino de 100 mil y más habitantes (tipo A), 2020



■ Fuente: Estimaciones del CONAPO, IMT y CentroGeo con base en el INEGI, censo 2020 e INEGI y SCT/IMT, RNC 2020.

Mapa 3.2.
República Mexicana. Tiempo ponderado de viaje hacia localidades destino de 25 mil y más habitantes (tipo B), 2020



■ Fuente: Estimaciones del CONAPO, IMT y CentroGeo con base en el INEGI, censo 2020 e INEGI y SCT/IMT, RNC 2020.