

Índice de vulnerabilidad climática de las ciudades mexicanas



Contenido

Introducción

Incertidumbre, riesgo y competitividad
Calidad de la información meteorológica

Vulnerabilidad climática

Dos definiciones: vulnerabilidad climática y social

Estructura del índice

Selección de la muestra de municipios e indicadores
Subíndice social
Subíndice de infraestructura
Subíndice climatológico
 Geo-hidrometeorología general
 Dinámica hidrometeorológica estacional
 Dinámica hidrometeorológica intrames

Datos y construcción de indicadores climáticos

Metodología

Resultados del IVC

Resultados por grupos de vulnerabilidad
El IVC geográficamente
Análisis por regiones geográficas
Notas destacadas de variables climáticas
Análisis por tamaño de población

Hallazgos

Recomendaciones de política pública

Lista de referencias bibliográficas

El agua tiene memoria. Se acuerda en donde estuvo y regresa.
Sabiduría popular de ingenieros hidráulicos

*Todos los elementos, cuando están fuera de su sitio natural, desean volver a él,
principalmente el fuego, el agua y la tierra.*
Leonardo Da Vinci

Este proyecto, realizado por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), bajo los auspicios y patrocinio de la Embajada del Reino Unido en México, es uno de muchos que IMCO realiza en el tema de cambio climático y desarrollo urbano. IMCO es un centro de investigación en política pública aplicada en temas de competitividad. IMCO define la competitividad como la capacidad de los países, los estados, las regiones, las ciudades, las empresas y los individuos para atraer inversiones y talento. La creciente probabilidad de eventos climáticos extremos es un factor importante de riesgo que puede afectar la capacidad del país para atraer la inversión y el talento necesarios para ser competitivo.

Introducción

El Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC) de IMCO es una herramienta que permite medir y analizar el nivel relativo de riesgo, relacionado a fenómenos climatológicos, al cual se exponen los municipios y zonas metropolitanas de México. El índice captura las fortalezas y áreas de oportunidad que tienen las comunidades para enfrentar fenómenos meteorológicos derivados del cambio climático global.

La capacidad de prevención y respuesta ante dichos eventos climáticos cambiantes son fundamentales para generar áreas metropolitanas más seguras y preparadas para encarar la incertidumbre de las condiciones del entorno. Éste proyecto busca señalar aquellas características que hacen a un municipio más vulnerable ante el cambio climático, enfocándose principalmente en el capital humano y social, la calidad de la infraestructura y las tendencias climáticas que han afectado al municipio en las últimas décadas.

El IVC ofrece a los habitantes y hacedores de política pública de las principales ciudades mexicanas un punto de referencia acerca de la vulnerabilidad y riesgos potenciales provocados por el cambio climático a los cuales se enfrentan sus poblaciones.

Incertidumbre, riesgo y competitividad

Algunos individuos están dispuestos a aceptar más riesgos en su vida que otros, con información bastante precisa sobre qué puede suceder en los distintos escenarios de desenlace de sus acciones. Sin embargo, este no es el caso en la mayor parte de las decisiones que tienen que ver con riesgos. Por lo general, los seres humanos enfrentamos incertidumbre pura en nuestras decisiones – no conocemos ni todos los posibles desenlaces de nuestro proceder ni las probabilidades asociadas a cada uno de estos desenlaces.

Por ejemplo, Baddeley (2005) analizó los mercados de vivienda en Inglaterra y Gales para el año 2002, y llegó a la conclusión de que “en presencia de incertidumbre, las decisiones de vivienda se complican debido a información imperfecta, asimétrica¹ e irreversibilidad de las propias decisiones. La inestabilidad se ve exacerbada por restricciones de liquidez y cambio institucional, así como comportamiento de la demanda y restricciones en la racionalidad de los compradores de casas, incluyendo sesgos cognitivos y otros factores psicosociales (...) La demanda por casas puede modelarse econométricamente de

manera efectiva como el resultado de tendencias de comportamiento en manada y otros factores objetivos”.

Así como el mercado de vivienda se ve distorsionado por la falta de certidumbre y la capacidad limitada de los consumidores para tomar decisiones bien informadas, la vulnerabilidad y los riesgos asociados con los fenómenos climáticos y las condiciones meteorológicas cambiantes también tienen un efecto negativo sobre las decisiones de las personas, el flujo de inversión y la generación y retención de talento en las ciudades. A mediano y largo plazo la competitividad, como la define IMCO, de las ciudades más afectadas por fenómenos climatológicos extremos se verá deteriorada. Las ciudades que además tengan un clima inapropiado para el desarrollo de algunos sectores económicos o que presentan subdesarrollo social y de infraestructura crónico también serán menos competitivas.

IMCO (2009, 2011), ha insistido en que los riesgos más serios relacionados con el cambio climático en México tienen que ver con agua – en algunos casos en la forma de sequías, en otros casos en la forma de inundaciones y eventos hidrometeorológicos extremos. La CONAGUA (2011) dice que “el país presenta un desequilibrio entre disponibilidad hídrica y demanda. Existen cuencas donde se utiliza un bajo porcentaje del agua total disponible, y otras en que se utiliza más del 100%”. En México el riesgo sísmico también es importante, y no se detalla aquí porque en estricto sentido no es un riesgo climático; sin embargo, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (2007) asegura que “México es un país donde han ocurrido más de 150 sismos moderados y grandes durante los últimos cien años. Si se dan las condiciones necesarias, los sismos pueden provocar tsunamis a lo largo de las costas del Pacífico y del Golfo de México”. Zúñiga-Bello (2007) presenta un inventario de fenómenos climáticos y tectónicos extremos entre 1980 y 2003 y llega a la conclusión que estos representaron daños por 7,326 millones de dólares.

Calidad de la información meteorológica

Para poder ofrecer un análisis de la vulnerabilidad climática en México es imperativo contar con bases de datos e información meteorológica suficiente en cantidad y sobre todo de alta calidad. El proceso de generar este índice ha presentado algunas dificultades técnicas en cuanto a la recolección de datos climáticos. Lo anterior debido a factores como la antigüedad de la información, la disponibilidad de bases de datos para algunas regiones del país y la distribución de los centros meteorológicos. Además existen repercusiones por agregar la información obtenida en estadísticos muestrales que, en muchos casos,

obstaculizan la capacidad de analizar eventos y procesos climáticos específicos en el tiempo.

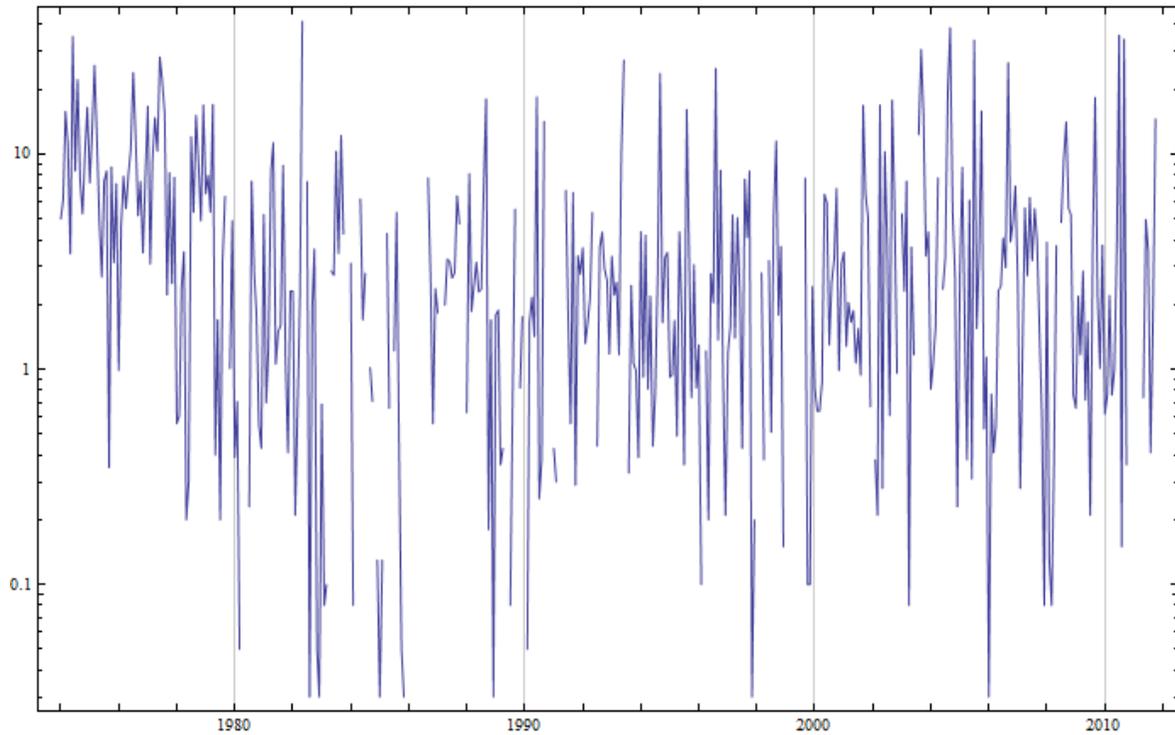
El caso de Monterrey

Cuatro décadas en la existencia del planeta son insignificantes. La calidad de la información climática se deteriora mientras más atrás queremos escudriñarla. Por ejemplo, sabemos que el Río Santa Catarina, que pasa por Monterrey, tuvo temporadas largas en las cuales estuvo prácticamente seco; sin embargo, está documentado que en épocas pasadas el Santa Catarina llevaba un caudal de agua importante. Vizcaya Canales (2010, pp. 19-20), refiriéndose a las épocas previas a la independencia de México, dice de Monterrey que "... algo que caracterizaba a la ciudad en esa época era la abundancia de agua. Al morir el señor obispo fray Rafael José Verger (1783-1790) dejó para beneficio de los habitantes de Monterrey unos derechos de agua extraída del río Santa Catarina que había comprado a los propietarios de la villa del mismo nombre. Esta agua fue conducida a la ciudad y distribuida por medio de numerosas acequias. Según el doctor José Eleuterio González 'todas las casas y hasta los jacalitos más infelices tuvieron agua corriente' y como ésta sobraba, 'el Ayuntamiento arrendó este sobrante para que hicieran labores de riego dentro del ejido de la ciudad'. Con esto Monterrey se transformó en una huerta 'y al cabo de diez años era un bosque de naranjos, aguacates y nogales'. Además del río Santa Catarina, otra fuente de agua era la de Santa Lucía. (...) Don Simón de Herrera, quien fue gobernador de 1795 a 1806, construyó dos presas sobre el río de Santa Lucía para darle agua a la zona que después fue conocida por Labores Nuevas. (...) Estas presas proporcionaron a Monterrey una abundancia de pescado e incluso de camarón gigante o langostino".

Parece sorprendente que el Santa Catarina, después de décadas de haberse convertido en un río con un caudal menor, en cuyo cauce incluso hay un campo de golf, se convirtiera en un caudal aterrador al paso del huracán Alex en junio de 2010. Dicha tormenta fue apenas un huracán clase 2 en la escala de Saffir-Simpsonⁱⁱ, con vientos de 176 km/h. Una simple búsqueda de Internet con las palabras clave 'huracán Alex' puede darnos una idea de la magnitud del evento climático ahí vivido.

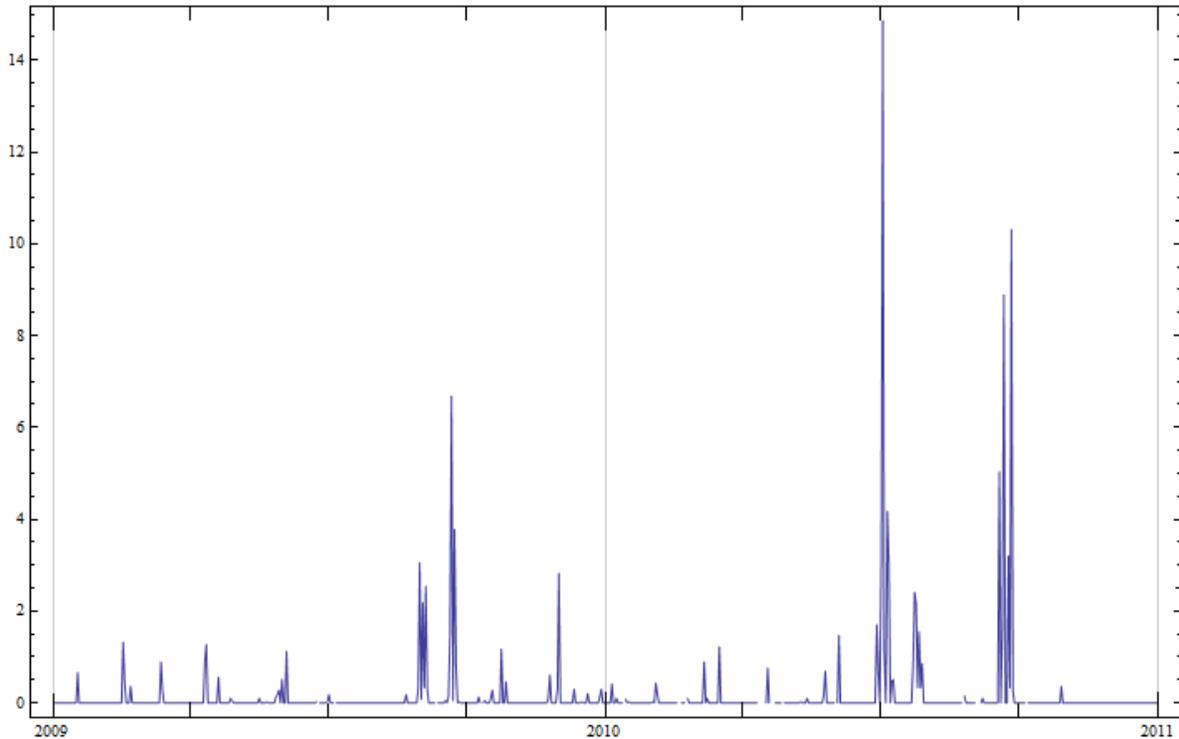
No hay mucha historia de huracanes en Monterrey. De hecho, la velocidad del viento en junio de 2010 no es muy diferente de la que se había vivido usualmente. Cuando vemos el gráfico de precipitación como un promedio mensual, tampoco hay mucha diferencia con el clima usual de Monterrey.

Gráfico 1. Precipitación mensual promedio, 1974-2011, Monterrey, Nuevo León (Escala logarítmica)



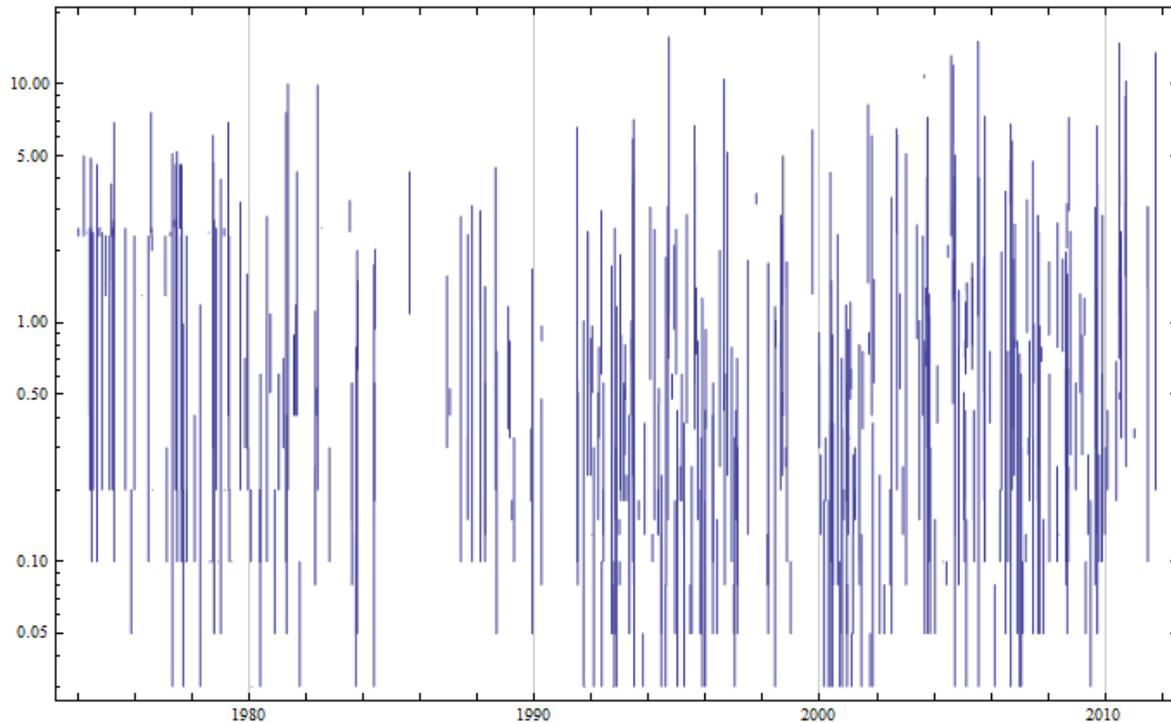
Sin embargo, al revisar los datos diarios, nos percatamos que al paso del Huracán Alex entre el 24 de junio y el 2 de julio de 2010, la ciudad recibió en un día mucha más precipitación de lo que era común y probable que se diera.

Gráfico 2. Precipitación diaria, Monterrey, Nuevo León, 2009-2011 (Escala logarítmica)



Sin duda, si se analizan los dos últimos años, la precipitación diaria en Monterrey no había sido tan alta en ninguno de los días desde 2009. El gráfico 3 nos muestra la precipitación diaria desde 1974. En esta perspectiva, nos damos cuenta que un día con lluvias tan copiosas no es tan inusual. Probablemente, tendríamos que estar haciendo varias mediciones en el día (por ejemplo, cada dos horas) para entender por qué la ciudad se inundó como lo hizo en el verano de 2010. Probablemente llegó la lluvia de un día en un par de horas.

Gráfico 3. Precipitación diaria, Monterrey, Nuevo León, 1974-2011 (escala logarítmica)



Para evaluar los riesgos climáticos, necesitamos más y mejores datos y modelos climatológicos. Así como su disseminación desde la comunidad científica que hoy los crea y alberga hasta las autoridades municipales. ¿Son los eventos del verano de 2010 en Monterrey tan raros que es imposible estimar su probabilidad? Con los modelos climáticos y conjuntos de datos adecuados es posible predecir la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, y prever acordeamente a dicha probabilidad. No es posible evitar todos los desastres, pero sí se puede disminuir las afectaciones a la vida, salud y patrimonio de las personas.

Vulnerabilidad climática

Únicamente se puede hablar de vulnerabilidad de un sistema en específico ante un riesgo específico o conjunto de riesgos. En términos generales, la vulnerabilidad ante riesgos climatológicos se refiere a la probabilidad de pérdida. En el caso de la vulnerabilidad climática, los riesgos son los eventos relacionados con el fenómeno global denominado cambio climático, el cual ha sido extensamente documentado (Brooks, 2003).

Hay una relación entre el fenómeno global de cambio climático y una mayor probabilidad de sequías, inundaciones, y eventos climáticos de tipo catastrófico. El presente estudio no pretende probar ni validar la hipótesis de cambio climático global. Sin embargo, el estudio mostrará que hay cambios medidos en variables climáticas en los últimas cuatro décadas en los principales municipios urbanos de México. En algunos casos, estos cambios languidecerán de manera silenciosa en las décadas por venir; en otros se manifestarán como desastres naturales de proporciones importantes. Probablemente en otros casos, el cambio climático resulte benéfico para las ciudades y comunidades, pero este estudio no analiza los beneficios potenciales derivados del cambio climático. Ese puede ser un tema a tratarse en una investigación aparte.

Dos definiciones: vulnerabilidad climática y social

En la literatura se identifican dos categorías de definiciones para vulnerabilidad ante el cambio climático.

a. Vulnerabilidad biofísica o climatológica. La primera definición de vulnerabilidad climática (Brooks, 2003) se enfoca en el daño potencial que un evento climático extremo puede causar en un sistema físico. La definición deja de lado el rol de mecanismos creados por el hombre para hacer frente a los eventos climáticos y disminuir dicho daño. Esta definición de vulnerabilidad está enfocada en el impacto sobre los individuos y no en la capacidad de las personas para lidiar con el clima. La vulnerabilidad climatológica se refiere al grado en el que un sistema es susceptible ante eventos climáticos extremos y su variabilidad.

b. Vulnerabilidad social asociada agravada por el clima. La segunda definición de vulnerabilidad climática (Brooks, 2003) está enfocada en el estado de un sistema humano previo a algún evento o riesgo climático. Se refiere al grado en el cual un sistema es susceptible a un daño, independientemente de los eventos climatológicos. En este segundo grupo de definiciones, la vulnerabilidad es

inherente al sistema sin importar los riesgos climáticos. En este caso la vulnerabilidad de una población está determinada por factores como pobreza, marginación, calidad de los hogares, infraestructura de la zona, caminos, tasas de crecimiento de la población, entre otros. Las características de la población y también del municipio determinan su vulnerabilidad.

Ambas definiciones son importantes para poder identificar la vulnerabilidad en los municipios de México, y por lo tanto, el índice considera ambas. El enfoque de vulnerabilidad es útil para evaluar las necesidades de la población en términos de adaptación y mejoras en su capacidad para enfrentarse a las amenazas climáticas existentes. En este estudio, la vulnerabilidad en los municipios de México está determinada por los efectos del cambio climático y por la capacidad de planeación, resistencia y adaptación de la población. Lo que nos interesa estimar con el índice es la vulnerabilidad potencial de los municipios ante posibles eventos climatológicos provocados por el cambio climático dadas sus características actuales.

Es importante mencionar que los eventos climáticos pueden ser repentinos (como una inundación) o graduales (como una gran sequía). En general, la dinámica de respuesta a ambos tipos de eventos es enteramente diferente, y los cambios sociales y económicos inducidos por la vulnerabilidad son muy distintos en ambos casos.

Estructura del índice

El Índice de Vulnerabilidad Climática de los municipios de México que aquí presentamos (IVC) captura la vulnerabilidad de municipios urbanos ante eventos climáticos extremos en tres dimensiones: climática, de infraestructura y social. En conjunto, estos factores estimarán la capacidad de resistencia y respuesta de la población y del municipio ante eventos climatológicos provenientes del cambio climático.

Gráfico 4. Definiciones de vulnerabilidad y subíndices del IVC

Definición de vulnerabilidad	Subíndice del IVC
Vulnerabilidad biofísica o climatológica	Climático (temperatura, velocidad del viento y precipitación)
Vulnerabilidad social agravada por el clima	Subíndice social
	Subíndice de infraestructura

Las dimensiones social y de infraestructura hacen uso de las bases de datos construidas por el IMCO para los índices de competitividad urbana y de vivienda. La dimensión social sin duda no puede ser subestimada. Lugares con una proporción alta de niños y ancianos, con viviendas frágiles, y aislados de los medios de comunicación, son más vulnerables que lugares que no tienen esas características. En el caso de la infraestructura, se analizaron variables críticas, como el número de carreteras y rutas de entrada y salida de las ciudades, que son altamente relevantes para disminuir la vulnerabilidad.

La dimensión geo-hidrometeorológica o climática constituye un reto estadístico interesante. En ella, la metodología hace una distinción entre aquellos lugares donde la temperatura, la lluvia y la velocidad del viento se han estabilizado desde principios de los años 70 hasta la fecha, contra aquellos lugares en donde hay cambios perceptibles tanto en el promedio mensual de las tres variables como en su volatilidad. En estos últimos casos, no solamente es posible pensar que hay un fenómeno local de cambio climático en marcha: también es muy difícil predecir a

qué niveles de temperatura, precipitación y velocidad del viento va a converger el fenómeno.

El IVC proporciona la información necesaria para capturar la vulnerabilidad de cada municipio en cuanto a las características de la población, de la infraestructura y de las variaciones en temperatura, precipitación y viento debido al cambio climático. El objetivo del IVC es aportar información esencial que permita diseñar políticas públicas adecuadas y pertinentes para los municipios de acuerdo a su vulnerabilidad, con la finalidad de mitigar los efectos en la población más vulnerable frente al cambio climático, mediante la generación y/o modificación de los proyectos a favor del fortalecimiento ante riesgos climáticos de los municipios.

Selección de la muestra de municipios e indicadores

Los 373 municipios seleccionados están conurbados a las 86 ciudades más importantes de México, en su conjunto acumulan cerca del 80% del PIB nacional y 65% de la población (IMCO, 2009), o son aquellos donde hay mayor demanda de vivienda (IMCO, 2011).

Algunos de los indicadores propuestos fueron seleccionados de la base de datos que IMCO ha utilizado para generar otros índices con información municipal, como el Índice de Competitividad Urbana en Materia de Vivienda (INCOMUV) y el Índice de Competitividad Urbana. Otros son resultado de un proceso de investigación y con el apoyo de algunas instituciones públicas se logró completar la lista de variables que guían el proceso. Los 97 indicadores agrupados en tres dimensiones de vulnerabilidad cumplen con las siguientes condiciones:

- Son publicadas con regularidad
- Proviene de fuentes de reconocido prestigio
- Son de fácil interpretación y sus metodologías de cálculo son transparentes y accesibles.

Las variables de la dimensión climática fueron construidas con la aplicación WeatherData incluida en el programa Mathematica 8.0.1 de Wolfram Research, Inc.

La estructura del índice y sus variables se muestra en la siguiente tabla:

Gráfico 5. Estructura del IVC y variables que lo componen

Índice de Vulnerabilidad Climática	Vulnerabilidad Social	Social	Índice de marginación
			Tasa de dependencia económica
			Limitación motriz
			Limitación mental
			Niños
			Adultos mayores
			Mujeres
			Usuarios de internet
			Televisión
		Infraestructural	Índice de calidad de reglamentos y códigos de construcción
			Desarrollo Urbano Integral Sustentable
			Índice de planeación y ordenamiento territorial
			Política de prevención de riesgos y peligros
			Potencial de conectividad y movilidad
	Rutas terrestres de salida/entrada		
	Red carretera avanzada (carreteras troncales de 4 carriles)		
	Vías pavimentadas		
	Unidades médicas		
	Personal médico		
	Densidad de Población		
Vulnerabilidad climática	Climatológico	Tasa de reforestación anual	
		Áreas verdes	
		Cambio y volatilidad de temperatura (de cada mes e intrames, 1974-2010)	
		Cambio y volatilidad de precipitación (de cada mes e intrames, 1974-2010)	
		Cambio y volatilidad de viento (de cada mes e intrames, 1974-2010)	

Subíndice social

El subíndice social captura aquellas características de las personas que afectan su vulnerabilidad, independientemente de los eventos climáticos. Este factor califica y describe la situación del capital social y humano de la población del municipio en términos económicos, educativos, de información y de salud. El subíndice social está conformado por las siguientes variables:

- *Usuarios de internet (ENIGH, 2008)*: Teóricamente, la distribución de esta variable es inversamente proporcional a la vulnerabilidad, debido a que la población usuaria de internet tiene mayor información disponible sobre los fenómenos climatológicos.
- *Viviendas particulares que disponen de televisión (INEGI-SIMBAD, 2005)*: A mayor población con acceso a la televisión en sus hogares, mayor información disponible sobre fenómenos climatológicos.
- *Población económicamente dependiente (CONAPO, 2004)*: A mayor valor de esta variable, mayor vulnerabilidad, debido a que familias con un número amplio de dependientes tienen que cumplir con la función de cuidar a la familia y además de trabajar. Esto hace que los ingresos sean menores y tengan dificultades para poder recuperarse (Heinz Center, 2000).
- *Población con limitación (motriz y mental) (Censo, 2010)*: A mayor proporción de gente con limitaciones, mayor vulnerabilidad, debido a que es más difícil movilizar a este segmento de la población (McGuire, Ford & Okoro, 2007). Esta población tiene mayores dificultades para recuperarse después de un evento climatológico, tanto por sus capacidades diferentes como por su desigual acceso al mercado laboral.
- *Población de 0 a 4 años (Censo, 2010)*: esta variable se relaciona positivamente con la vulnerabilidad porque los niños de esta edad son más susceptibles a enfermedades causadas por eventos climáticos extremos. Además, en los casos de evacuación, es más difícil transportar a los niños en este rango de edad.
- *Población de 75 años y más (Censo, 2010)*: También, los adultos mayores pueden ser más susceptibles a enfermedades causadas por un evento climático, y al igual que los niños pequeños, tienen restricciones de movilidad en casos de evacuación.
- *Población de sexo femenino (Censo, 2010)*: esta variable es directamente proporcional a la vulnerabilidad debido a que las mujeres tienen más dificultad que los hombres para recuperarse después de un evento climatológico por la desigualdad en salarios, empleos específicos y las responsabilidades del hogar (Enarson, Fothergill & Peek, 2006).

- *Índice de Marginación (CONAPO, 2010)*: Los más pobres son más vulnerables, porque tienen más dificultad para enfrentar eventos climáticos y también para recuperarse. El índice de Marginación de la CONAPO también permite conocer, tangencialmente, la calidad de las viviendas. Este índice está conformado por las siguientes variables:
 - población de 15 años o más analfabeta,
 - población de 15 años o más sin primaria completa,
 - ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado,
 - ocupantes en viviendas sin energía eléctrica,
 - ocupantes en viviendas sin agua entubada,
 - viviendas con algún nivel de hacinamiento,
 - ocupantes en viviendas con piso de tierra,
 - población en localidades con menos de 5 000 habitantes y
 - población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos.

Subíndice de infraestructura

El subíndice de infraestructura captura aquellas modificaciones humanas al espacio físico de la localidad que potencialmente podrían reducir la vulnerabilidad de sus habitantes, independientemente de los eventos climáticos. Esta dimensión del índice captura las características físicas del municipio, los servicios de salud disponibles, la reglamentación que rige el municipio en cuanto a planeación, construcción y ordenamiento y las políticas de prevención de riesgos. El subíndice está conformado por las siguientes variables:

- *Calidad de reglamentos y códigos de construcción (IMCO, 2010)*: Los mejores reglamentos y códigos de construcción toman en consideración zonas de riesgo en las cuales no se deberían de construir viviendas. A mejor reglamentación para la construcción de vivienda, menor vulnerabilidad.
- *Desarrollo Urbano Integral Sustentable (SHF, 2010)*: esta variable se relaciona negativamente con la vulnerabilidad. Un desarrollo sustentable permite que se construya en zonas con los servicios adecuados.
- *Índice de planeación y ordenamiento territorial (IMCO, 2010)*: En general, en presencia de una mejor planeación y ordenamiento territorial en los municipios, las construcciones se realizan en zonas que cuentan con la infraestructura, servicios adecuados y con la seguridad necesaria, y por tanto son menos vulnerables.
- *Política de prevención de riesgos y peligros (IMCO, 2010)*: Cuando hay política de prevención de riesgos los municipios pueden reaccionar más

efectiva y eficientemente ante desastres naturales, y son menos vulnerables.

- *Potencial de conectividad y movilidad (TAAU, 2010)*: Entre mejor conectividad y movilidad, los efectos de eventos climatológicos pueden ser menores.
- *Rutas terrestres de salida/entrada (Google Earth), red carretera avanzada (carreteras troncales de 4 carriles) (INEGI, 2008) y vías pavimentadas*: En caso de algún desastre mayor, es más fácil evacuar a la población o es más fácil que llegue ayuda a la comunidad.
- *Unidades médicas y personal médico (INEGI-SIMBAD, 2010)*: Los eventos climáticos extremos inducen enfermedades que se presentan en la población. A mayor número de unidades médicas y personal médico es posible mitigar tales efectos, y la población es menos vulnerable.

Subíndice climático

Este subíndice concentra la información relevante sobre las características geográficas y ecológicas municipales. Además de una descripción puntual de la situación actual de la población en cuestiones geofísicas, se incluye un amplio análisis que muestra la tendencia meteorológica a lo largo del tiempo.

La información incluida en la dimensión geo-hidrometeorológica está dividida en 3 sub categorías:

Geo-hidrometeorología general:

Las variables que forman parte de ésta categoría son:

- *Tasa de reforestación anual y áreas verdes*: Los indicadores muestran información sobre la preservación de los recursos naturales que permiten el correcto funcionamiento de los ciclos hídricos así como la creación de barreras naturales ante eventos meteorológicos adversos. A mayor tasa de reforestación anual y áreas verdes en el municipio, menor vulnerabilidad a eventos climáticos extremos.

Dinámica hidrometeorológica estacional

Los componentes de la categoría estacional son indicadores que capturan la dinámica a través del tiempo de tres variables climáticas: temperatura, precipitación y velocidad del viento, comparando las mismas épocas del año a través de décadas.

Los indicadores miden los cambios en volatilidad y en nivel de las variables incluidas para cada mes del año. Las variables están agrupadas de acuerdo a cada mes del año ya que así es posible identificar meses en los cuales el nivel y variabilidad han cambiado, dejando ver una vulnerabilidad creciente frente al cambio climático.

Dinámica hidrometeorológica intrames

Estos indicadores permiten observar el comportamiento de la variabilidad de la temperatura, precipitación y la velocidad del viento dentro del mismo mes a lo largo de los años utilizando un dato de volatilidad derivado del registro diario de la variable.

Datos y construcción de indicadores climáticos

Dinámica hidrometeorológica estacional

Los indicadores incluidos en este apartado describen cambios en el nivel y volatilidad de las variables temperatura, precipitación y velocidad del viento, registradas diariamente a lo largo de un mes. Permiten distinguir si la volatilidad y el promedio dentro del mes han incrementado o disminuido.

Para la generación de dichos indicadores se obtuvieron los siguientes datos para cada uno de los municipios utilizando la base de datos de Mathematica WeatherData:

- Temperatura promedio mensual desde 1974 hasta 2010
- Precipitación total media mensual desde 1974 hasta 2010
- Velocidad del viento promedio mensual desde 1974 hasta 2010

Los datos para cada municipio se ordenaron cronológicamente con base en los años medibles. La comparación a través del tiempo se hace con base en el mes analizado. La agrupación de datos permite al usuario de los datos identificar el comportamiento, a lo largo de esos años, de las tres variables climáticas en un mes específico.

Utilizando los datos anteriores, se calcularon estadísticos que arrojaran información por cada variable (precipitación, temperatura y velocidad del viento) y por mes:

- Desviación estándar para dos grupos de años: 1974-1999 y 2000-2010.
- Valor promedio para los mismos grupos de años: 1974-1999 y 2000-2010.

Para hacer viable la comparación de los municipios y el valor de las variables, se buscó que los estadísticos reflejaran para cada mes lo siguiente:

- Cambio porcentual de la desviación estándar de la variable en el municipio (1974-1999 vs 2000-2010)
- Cambio porcentual del promedio de la variable en el municipio (1974-1999 vs 2000-2010)

Los estadísticos descritos anteriormente han sido calculados para dos grupos de años. Se utilizaron los años que abarcan de 1974 hasta 1999 para delimitar una

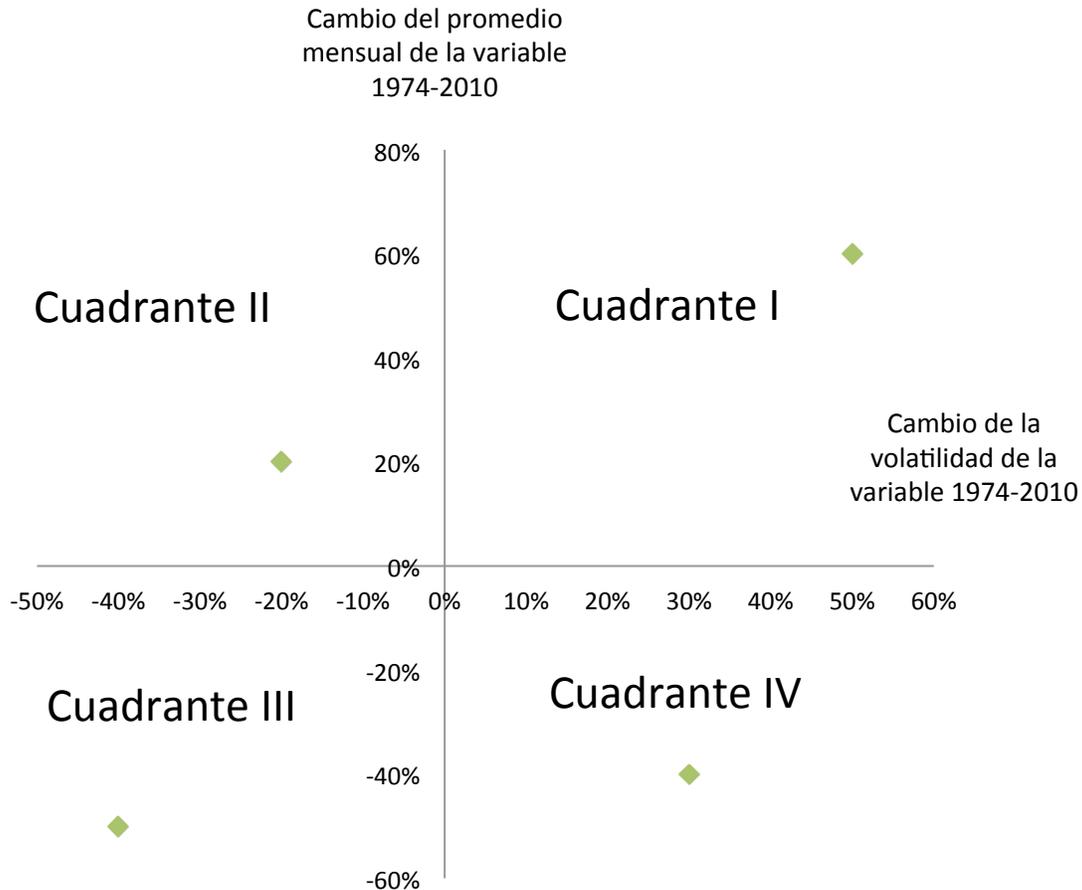
serie de tiempo que funcionará como parámetro de control del clima, y después compararse contra un grupo de años que entregue información sobre las mismas variables pero en un rango de tiempo menor y cronológicamente más cercano a la actualidad: 2000 a 2010.

De esta manera se hacen evidentes los cambios porcentuales en nivel y variabilidad de los datos observados a lo largo de tres décadas en cada municipio. Secuencialmente se puede percibir objetivamente el cambio en las variables climáticas durante la última década en comparación a los datos más antiguos. Cabe señalar que no se han hecho pruebas estadísticas, como por ejemplo diferencia de medias o diferencia de desviaciones estándar, para validar ninguna hipótesis ya que este trabajo de investigación no pretende ofrecer información estadística sino descriptiva de un fenómeno climatológico.

El siguiente paso en la creación de indicadores consistió en seguir una tipología de vulnerabilidad que permite clasificar a los municipios de acuerdo a la tendencia que han seguido en los últimos años la temperatura, la precipitación y la velocidad del viento.

Generar indicadores basados en la tipología descrita en el Gráfico 6 permite observar como se ha comportado el nivel del componente climático estudiado y su variabilidad a través del tiempo. Esto se hace para todos los municipios de manera mensual.

Gráfico 6. Tipología de vulnerabilidad en el tiempo.



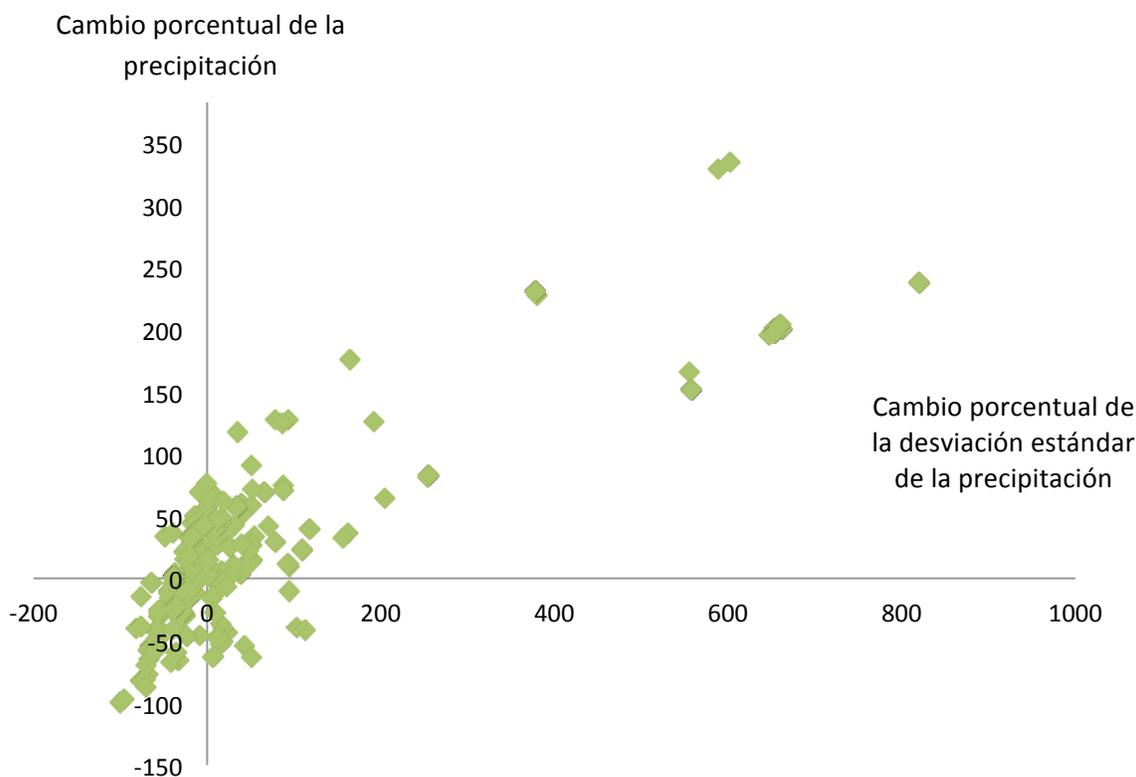
Los datos del municipio se ven representados como puntos en la tipología propuesta y clasificamos las tendencias en 2 conjuntos diferentes.

- El primer conjunto contiene a aquellos municipios donde el nivel de la variable ha aumentado (cuadrante II) o disminuido (cuadrante III) pero donde hay menos volatilidad. Es decir, el clima ha cambiado en comparación a décadas pasadas pero las variables se están consolidando en un nivel estable. La vulnerabilidad en estas regiones se considera como constante en el tiempo ya que a pesar de los efectos del cambio climático, las condiciones atmosféricas para un mes determinado son parecidas entre sí.
- En el segundo conjunto (cuadrantes I y IV), encontramos a los municipios que han experimentado cambios de nivel de las variables y que además su variabilidad ha crecido en el tiempo. En el cuadrante I se ubican los municipios que han visto aumentos en el nivel de la variable y además con una volatilidad creciente. Dentro del cuadrante IV se localizarán los municipios que de igual manera presentan en la actualidad más volatilidad

en el factor climático pero que, en contraste, el valor de ese factor ha presentado caídas en el nivel promedio.

En figuras muy parecidas al gráfico 7 se evaluaron los 373 municipios, de acuerdo a las 3 variables climáticas (temperatura, lluvia y viento) y su desempeño a lo largo de un umbral de 37 años. Éste análisis es aplicable para los cambios identificados en un mes determinado. Por ejemplo, utilizamos un gráfico para mostrar de manera visual los cambios en nivel y volatilidad de la precipitación que han experimentado los municipios en el mes de julio.

Gráfico 7. Presentación de resultados, promedio y desviación estándar. Todos los meses de julio 1974-2010



Fuente: Mathematica WeatherData.

En el gráfico anterior observamos que los municipios se agrupan casi uniformemente alrededor del origen, a excepción de algunas poblaciones que se alejan del mismo y que se encuentran en el cuadrante I. La precipitación en los municipios que se encuentran en esa área ha incrementado su volatilidad entre 400% y 900%. Ahora es mucho más difícil predecir en esos municipios qué cantidad de lluvia se presentará durante el mes de julio. De manera similar

analizamos como ha aumentado su nivel de precipitación. Vemos que los mismos municipios ahora observan un nivel de lluvias mayor, en algunos casos casi 3 veces más lluvia que en décadas anteriores.

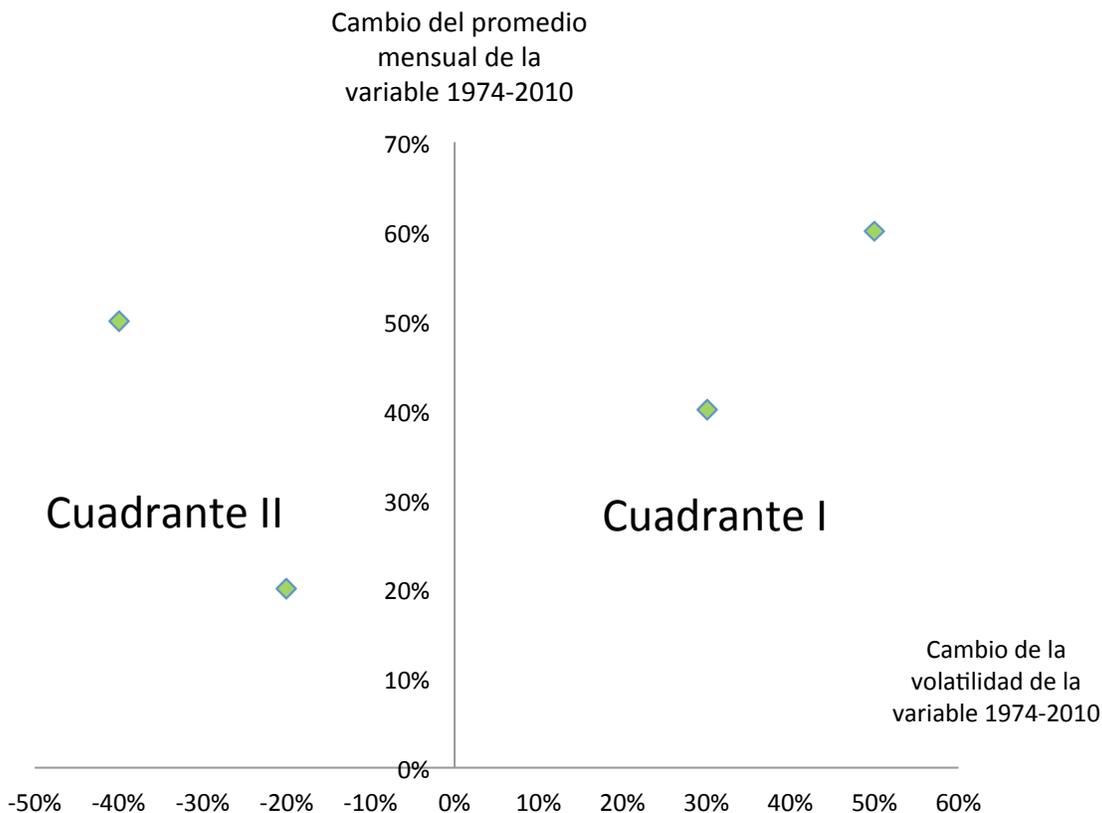
Es necesario y razonable suponer que los seres humanos preferimos vivir en lugares cuyo clima es predecible. Desde este punto de vista, el desempeño óptimo de las variables meteorológicas evaluadas se encuentra en el origen de la gráfica, es decir donde el municipio no ha experimentado cambios ni en nivel ni en variabilidad. Entonces decimos que aquellos municipios que se encuentran alejados de las coordenadas (0,0) o del origen han presentado cambios porcentuales más abruptos a lo largo del tiempo.

Debido a la gran diversidad de climas y condiciones atmosféricas observables en el territorio mexicano se considera que un aumento o disminución de las variables evaluadas es igualmente perjudicial. Para analizar cambio climático es poco relevante conocer si la variable climática está cambiando de nivel negativa o positivamente. El índice busca medir la vulnerabilidad sin tomar en cuenta la tendencia que ha seguido (en promedio) la temperatura, la precipitación o la velocidad del viento.

Es por esta razón que para el cálculo del índice se ha decidido incluir una simplificación en el modelo que permitirá para posteriormente evaluar a todos los municipios, sin importar sus condiciones atmosféricas históricas. Es decir, se podrán comparar municipios que tienen una predominancia de temperaturas bajas con otros territorios donde es claro que sus antecedentes históricos los sitúan como ciudades cálidas. Se podría afirmar que la metodología es relativamente indiferente entre el aumento y la disminución de las temperaturas en promedio. En contraste, la varianza es un factor medular del análisis.

La simplificación antes mencionada provoca un ligero cambio en la presentación gráfica de los datos y la tipología de vulnerabilidad. Ahora solo se utilizarán dos cuadrantes y no cuatro.

Gráfico 8. Simplificación del sistema de cuadrantes. Tipología de indicadores de vulnerabilidad climática y su tendencia en el tiempo, IMCO.



Las localidades que reportaron un aumento o descenso en el nivel de la variable climática están ahora, sin distinción de tendencia, en los cuadrantes I y II. Lo anterior debido a que los datos negativos han sido transformados, utilizando el valor absoluto del cambio porcentual, dejando fuera el efecto que el signo pueda tener en las interpretaciones. Los municipios ya no son catalogados en 4 regiones, sino que ahora son solo dos clasificaciones las que utilizamos.

- Cuadrante I: el municipio presentó un cambio de nivel y al mismo tiempo su volatilidad es mayor en comparación a décadas anteriores. Estos municipios presentan evidencia de cambio climático y además son menos predecibles las condiciones meteorológicas. En general estas comunidades presentan una vulnerabilidad creciente.
- Cuadrante II: la localidad presentó un cambio de nivel en la variable climática pero su volatilidad está descendiendo relativamente. Existe evidencia de un cambio climático en la región pero a diferencia del grupo anterior, estos municipios presentan convergencia hacia cierto nivel en sus variables meteorológicas y atmosféricas. Las poblaciones que se

encuentran en este cuadrante se clasifican como de vulnerabilidad constante.

Siguiendo con la lógica que supone mayores efectos de cambio climático en aquellos municipios más alejados del origen, es posible proponer un método de medición de la vulnerabilidad ante cambios meteorológicos en la zona geográfica. Existen algunas notas importantes:

- 1) Los puntos en el diagrama de dispersión (municipios) más alejados del origen de los ejes cartesianos son aquellos que han experimentado un cambio más significativo en las variables climáticas, por ello son más vulnerables ante el fenómeno global de cambio climático.
- 2) Si el municipio se encuentra en el cuadrante I, en el cálculo del índice, se considera que es doblemente vulnerable, debido a que no solo ha sufrido cambios en clima, también ha experimentado una volatilidad mayor.
- 3) En el cuadrante II los municipios son clasificados como vulnerables pero no volátiles y con clima relativamente predecible, esto los coloca en términos comparativos como menos vulnerables que aquellos ubicados en el cuadrante I.

Tomando en cuenta las notas anteriores, se utilizó la distancia geométrica entre dos puntos para medir que tan cambiante ha sido la tendencia. La fórmula utilizada es la fórmula cartesiana de distancia:

$$d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

Donde (x_i, y_i) son las coordenadas que denotan el cambio porcentual en variabilidad y nivel respectivamente. Las coordenadas con las que se quiere comparar son $(0,0)$, entonces la fórmula final se expresa de la siguiente forma:

$$d = \sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2}$$

De manera adicional, si el municipio se encuentra en el cuadrante I, la distancia obtenida con la fórmula anterior es multiplicada por dos. La razón fundamental es que en este cuadrante la volatilidad es mayor y como consecuencia su vulnerabilidad climática es doblemente grave. A aquellos municipios en los cuales existe una consolidación de las variables y su volatilidad, no se les hace ningún ajuste.

- Medición de la distancia para los municipios en Cuadrante I

$$d = 2\sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2}$$

- Medición de la distancia para los municipios en Cuadrante II

$$d = \sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2}$$

La medición de la distancia de cada punto, que representa un municipio, al origen dio lugar a un indicador de la vulnerabilidad climática, que arroja información por cada mes del año. El indicador tiene ciertas características deseables:

- Es útil para comparar a todos los municipios.
- Incorpora información sobre el cambio de nivel y variabilidad del clima.
- Presenta un valor óptimo ($d=0$) que sirve como parámetro para evaluar el desempeño del clima en las regiones.
- El método es replicable a partir de datos simples.

El método utilizado para crear los indicadores tiene dos limitaciones importantes:

- a) El indicador (distancia del punto al origen) no distingue que dato, nivel o volatilidad, está teniendo más efecto sobre la vulnerabilidad.
- b) Es incapaz de distinguir tendencias en los cambios de nivel del clima. El modelo no permite conocer si un municipio es más cálido o frío, seco o lluvioso ni tampoco si el viento es ahora acelerado o más lento en comparación con años anteriores.

Para dar solución a este problema fue necesario crear etiquetas que clasificaran a los municipios de acuerdo a las características climatológicas cualitativas que los diferencian del resto de las ciudades. Las etiquetas se definen de la siguiente manera:

- Temperatura
 - Municipio cálido: si la localidad ha presentado un aumento de la temperatura en más de 6 meses del año.
 - Municipio frío: si la temperatura ha descendido a lo largo del tiempo en más de 6 meses.

- Precipitación
 - Municipio lluvioso: si la región ha experimentado niveles superiores de lluvia en al menos 6 meses del año en comparación a años pasados.
 - Municipio seco: si la tendencia de precipitación es a la baja en comparación a décadas anteriores.

- Velocidad del viento
 - Viento acelerado: si durante la última década se registraron vientos más fuertes que en el pasado en más de 6 meses del año.
 - Viento desacelerado: si el viento es ahora más débil que en años atrás, en al menos 6 meses del año.

En forma similar, es posible saber que tan volátil o estable es un municipio con las siguientes etiquetas:

- Municipio estable: si la variable evaluada está consolidando su volatilidad en más de 6 meses.
- Municipio volátil: si en más de 6 meses del año el municipio ha experimentado aumentos en la variabilidad del clima.

Dinámica hidrometeorológica municipal con datos diarios de cada mes

Adicionalmente a la dinámica que han seguido la temperatura, la precipitación y la velocidad del viento a lo largo de 37 años para cada mes, se buscó reconocer la tendencia y comportamiento de la variabilidad utilizando los datos diarios de cada mes. De ésta manera es explícito en el índice el comportamiento del clima desde una perspectiva más acotada. La variabilidad intrames nos permite saber si el clima se ha vuelto más volátil, no solo anualmente, sino en las mediciones diarias registradas por las estaciones meteorológicas. Para ello utilizamos la siguiente información:

- Desviación estándar intrames de la temperatura diaria desde 1974 hasta 2010
- Desviación estándar intrames de la precipitación diaria desde 1974 hasta 2010
- Desviación estándar intrames de la velocidad del viento diaria desde 1974 hasta 2010

Se obtuvieron para cada variable y por mes la desviación estándar promedio para dos grupos de años: 1974-1999 y 2000-2010. Con el último dato calculamos el

cambio porcentual de la desviación estándar promedio de la variable en el municipio (1974-1999 vs 2000-2010).

La construcción del índice asigna calificaciones altas a aquellos municipios donde la volatilidad de las variables dentro del mes no se ha visto modificada, y paralelamente otorga calificaciones bajas a aquellos que se han alejado mucho de la variabilidad usual de la temperatura, precipitación o velocidad del viento en el mes correspondiente.

Metodología

Homologación de indicadores 0-100

Las variables de cada municipio se normalizan en una escala de 0 a 100 en función de los valores que presenten el resto de los municipios. El peor dato registrado por variable toma el valor de 0, mientras que el mejor toma el valor de 100. Los valores son calificaciones entre 0 y 100 en proporción a la escala utilizada. De ésta manera se consiguen algunos aspectos importantes:

- a) Se comparan valores normalizados y no números absolutos.
- b) Se hacen homogéneas las unidades de todas las variables.
- c) La posición relativa de los municipios es fácilmente observable.

Pesos y ponderaciones de las variables

El IVC se construye por agregación lineal de las variables sociales, de infraestructura y clima. Dentro de cada uno de estos tres pilares, los pesos de las variables son homogéneos. En la ponderación final, el pilar climático pesa 50% de la calificación final, el social 25%, y el de infraestructura igualmente 25%.

¿Qué hace el modelo?

- Compara transversalmente la posición relativa de cada uno de los 373 municipios en torno a 3 dimensiones municipales íntimamente relacionadas con la vulnerabilidad ante fenómenos climatológicos.
- Describe la dinámica y el comportamiento de la temperatura, la precipitación y la velocidad del viento de los municipios a lo largo de 37 años, así como la situación de su capital social e infraestructura básica.
- Otorga una calificación de 0 a 100 a cada municipio tanto globalmente como para cada dimensión de vulnerabilidad.
- Complementa la información que dan otros indicadores al brindar una perspectiva más amplia y específica para cada municipio, misma que permite un análisis de sensibilidad para determinar agendas prioritarias de política pública.
- Permite hacer conjeturas razonables en relación con el efecto en la vulnerabilidad de los municipios resultante de los aumentos en la posición competitiva de los municipios.

¿Qué no hace el modelo?

- No permite realizar predicciones en relación con la vulnerabilidad o impacto de fenómenos climáticos en los municipios.
- No hace explícitas las interacciones entre los indicadores considerados.

Resultados del IVC

Resultados por grupos de vulnerabilidad

El índice clasifica los municipios de México en 7 categorías de acuerdo a su vulnerabilidad general, las cuales son: muy baja, baja, media baja, media, media alta, alta y muy alta. Para esta clasificación se realizó un análisis por *clusters*.

La aglomeración de municipios en *clusters* se hizo utilizando el comando FindClusters de Mathematica, sobre un vector unidimensional que captura el pilar climático, social o de infraestructura del municipio. El algoritmo computacional utilizado maximiza la distancia entre municipios que no tienen datos en común, y minimiza la distancia entre cada una de las características comunes. Se fuerza al algoritmo a agrupar los municipios en siete clusters, de acuerdo a su vulnerabilidad: muy baja, baja, media baja, media, media alta, alta y muy alta.

En general los datos de cada cluster se distribuyen casi como una distribución normal (en forma de campana). Es decir, hay pocos municipios con vulnerabilidad muy alta y muy baja; la mayoría de los municipios se agrupan alrededor de la vulnerabilidad media.

Gráfico 9. Municipios, por vulnerabilidad

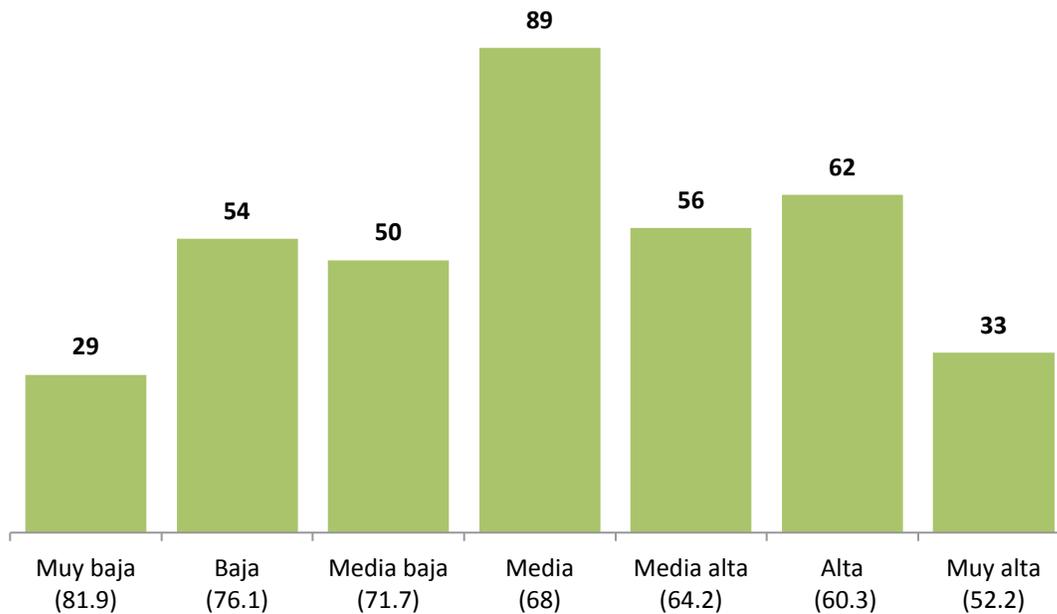


Gráfico 10. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad muy baja

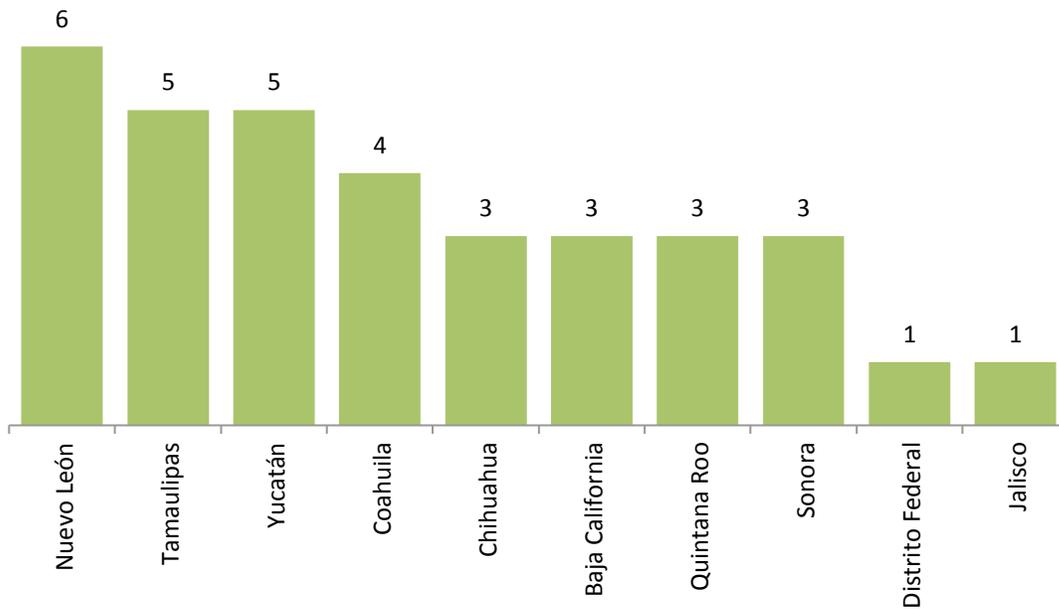


Gráfico 11. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad baja

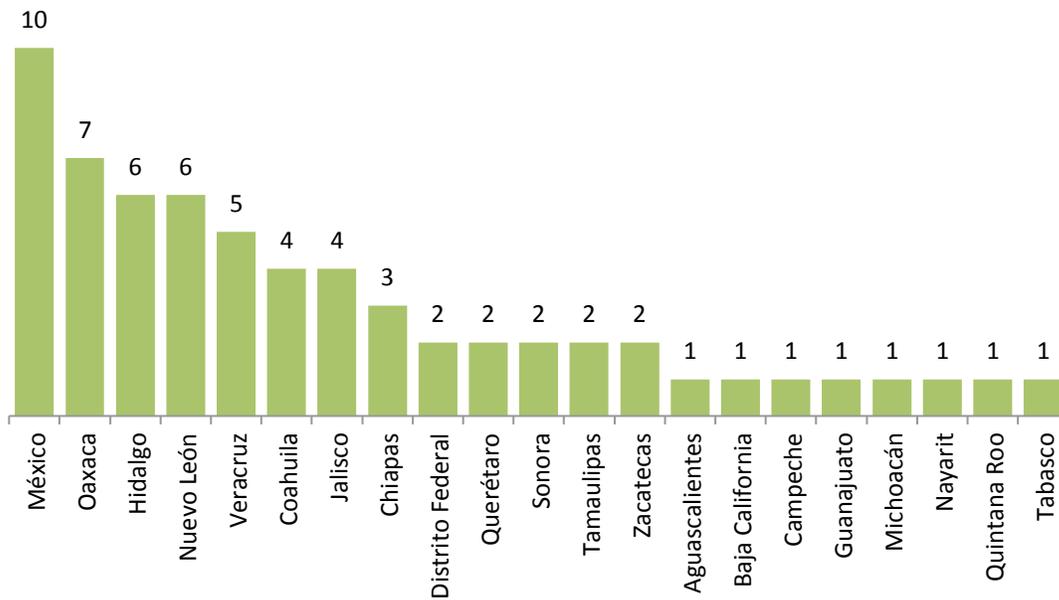


Gráfico 12. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad media baja

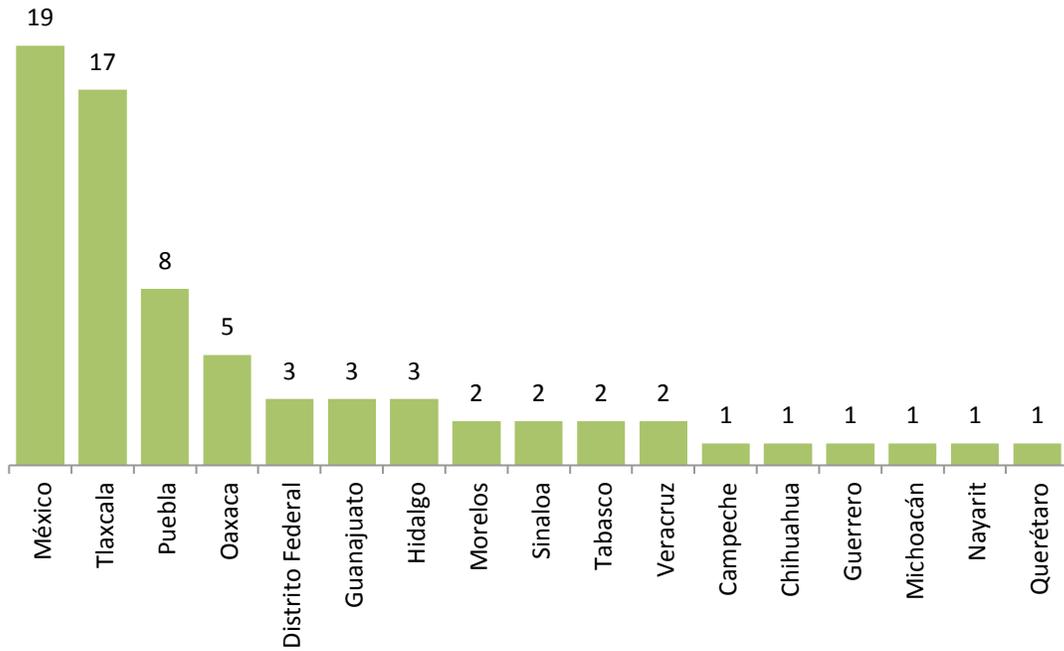


Gráfico 13. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad media

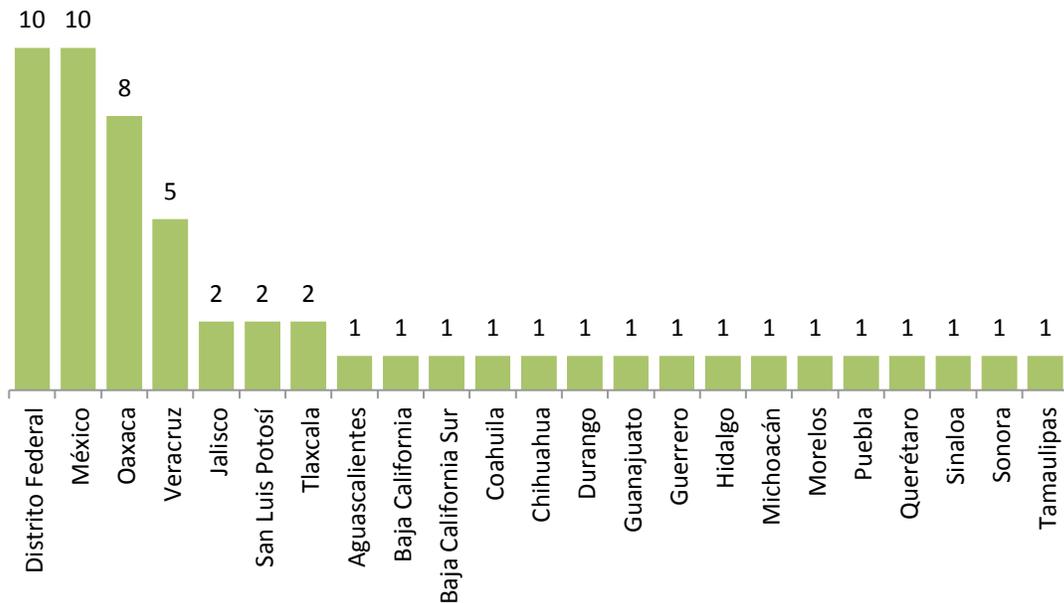


Gráfico 14. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad media alta

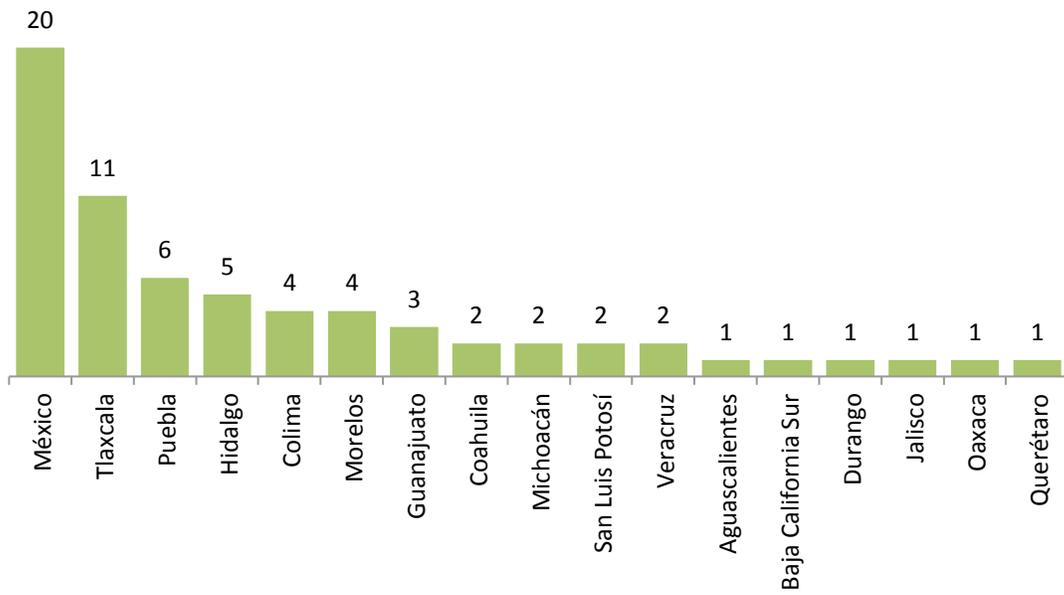


Gráfico 15. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad alta

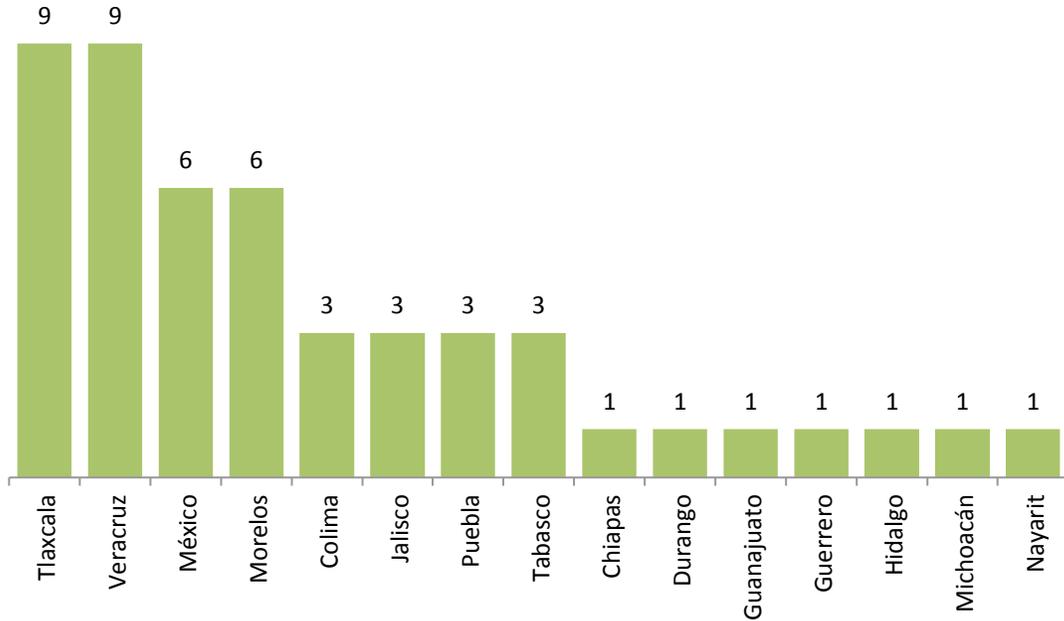
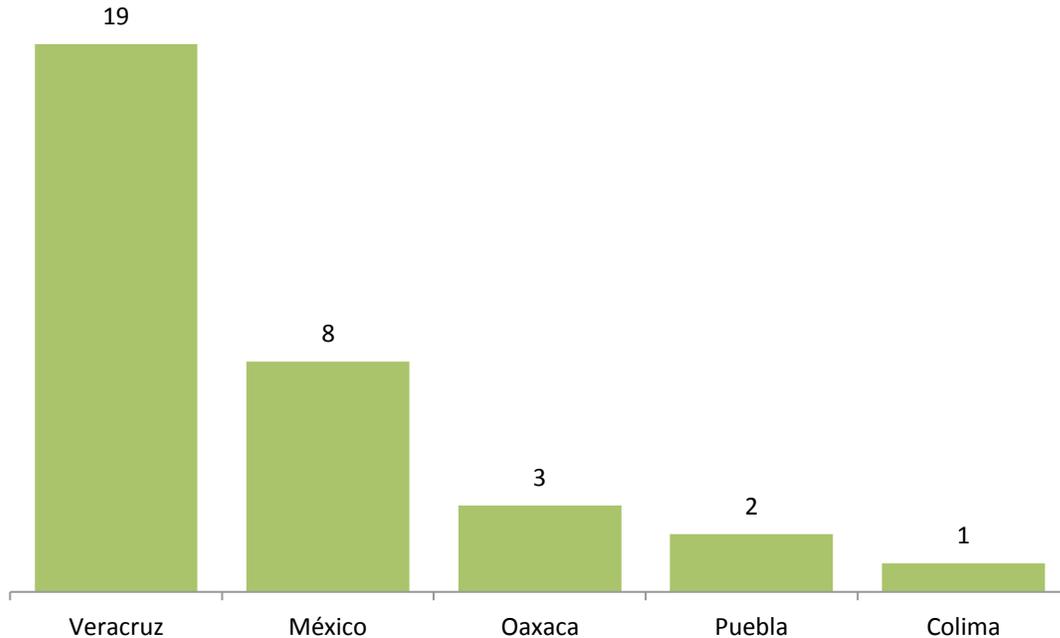


Gráfico 16. Estados donde se ubican los municipios con vulnerabilidad muy alta



El IVC geográficamente

Los siguientes mapas muestran al índice geográficamente, en las principales ciudades de México. Las zonas en verde presentan baja vulnerabilidad, y las marcadas en rojo, alta. Las amarillas presentan vulnerabilidad intermedia.

Es importante notar que zonas ricas en infraestructura con una sociedad más articulada no son tan vulnerables, a pesar de tener climas impredecibles, como la Ciudad de México y su zona conurbada.

Los mapas revelan de manera interesante que las ciudades grandes de México no son las más vulnerables, lo cual es útil. Sin embargo, el Valle de México presenta áreas grandes de muy alta vulnerabilidad, así como las ciudades cercanas de Puebla y Toluca, que son núcleos urbanos de muy alto crecimiento. Pachuca presenta niveles relativamente bajos de vulnerabilidad, en contraste.

Gráfico 17. Ciudad de México – Índice general

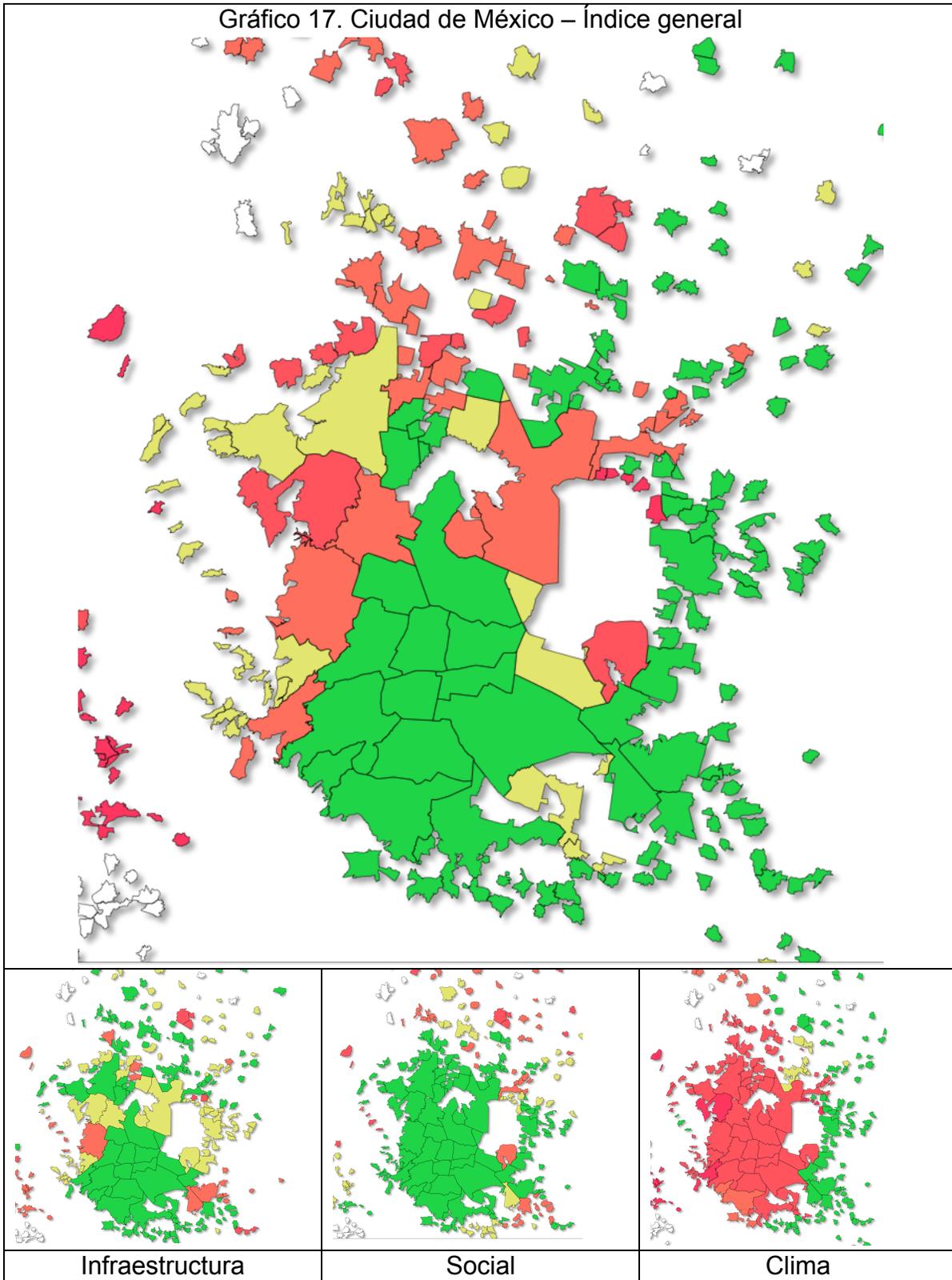


Gráfico 18. Guadalajara y zona conurbada – Índice general

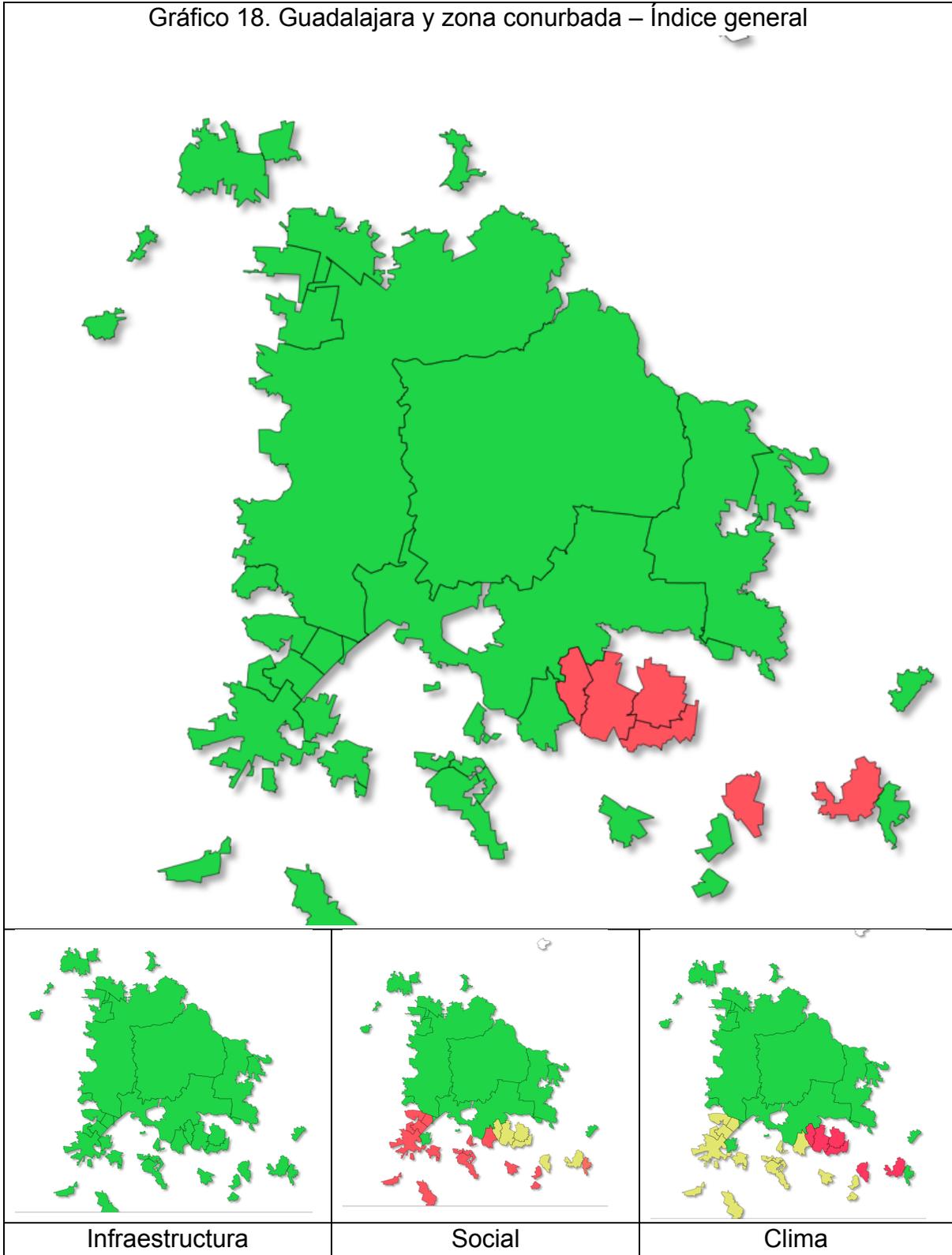


Gráfico 19. Monterrey y zona conurbada – Índice general

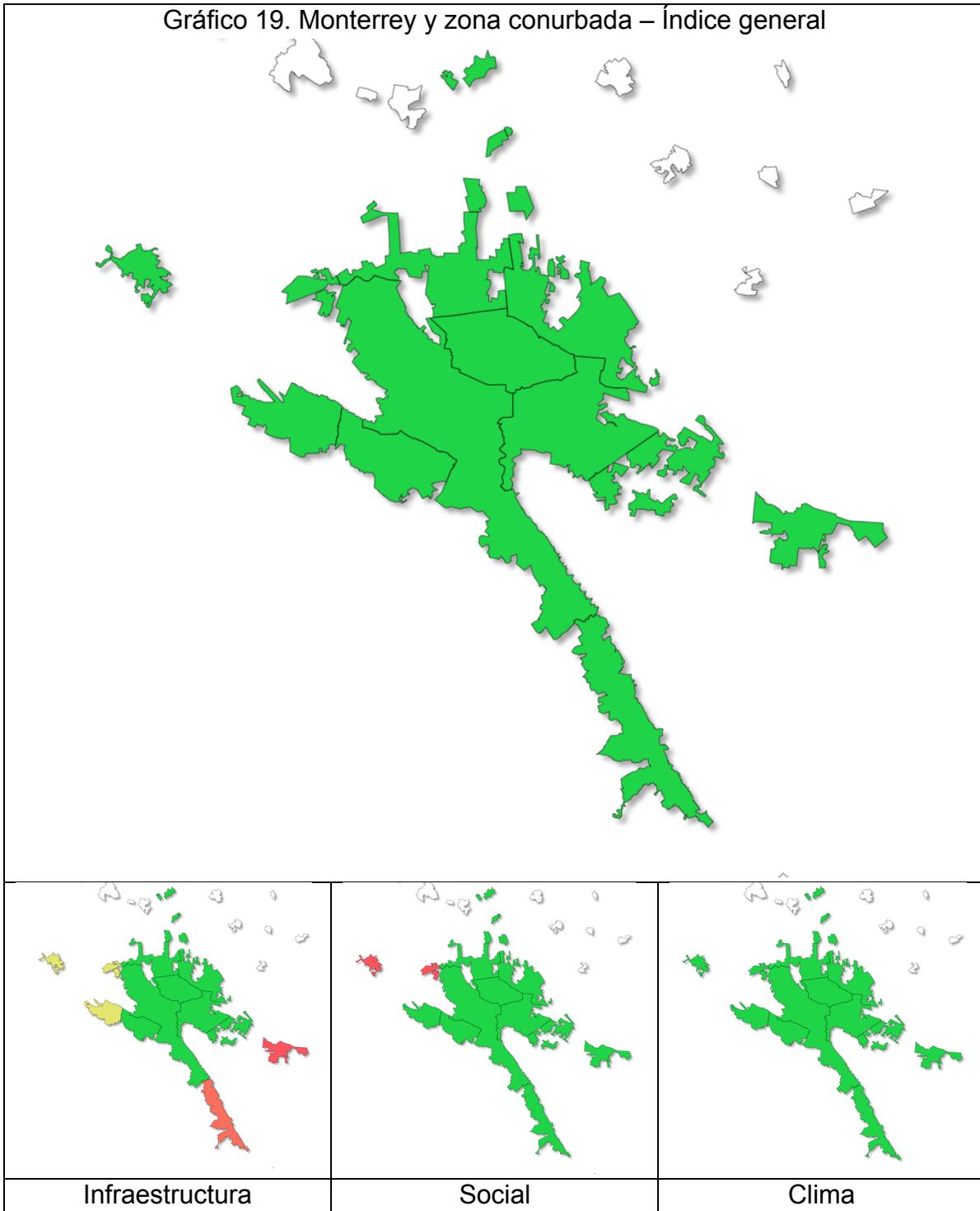
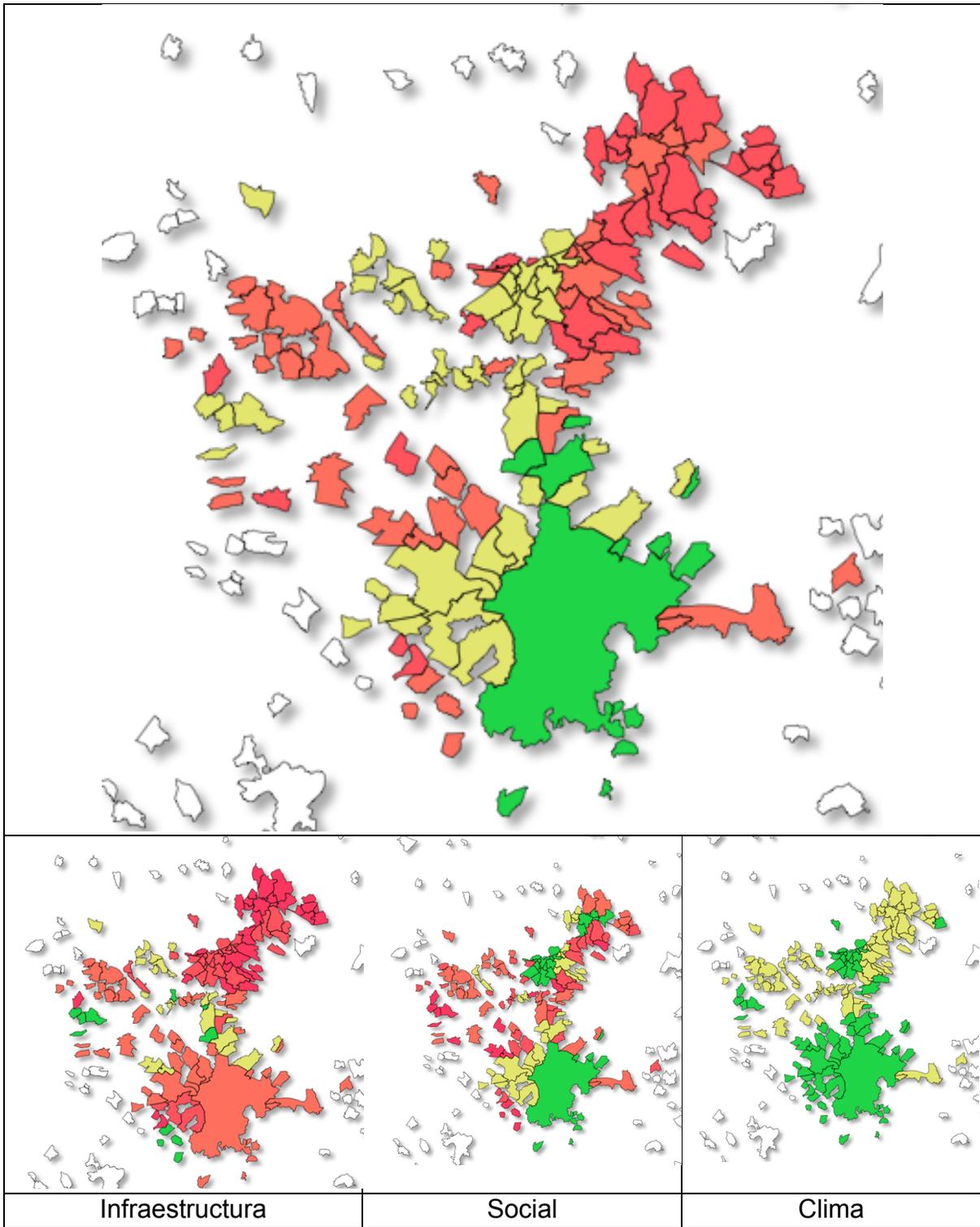


Gráfico 20. Puebla y zona conurbada – índice general



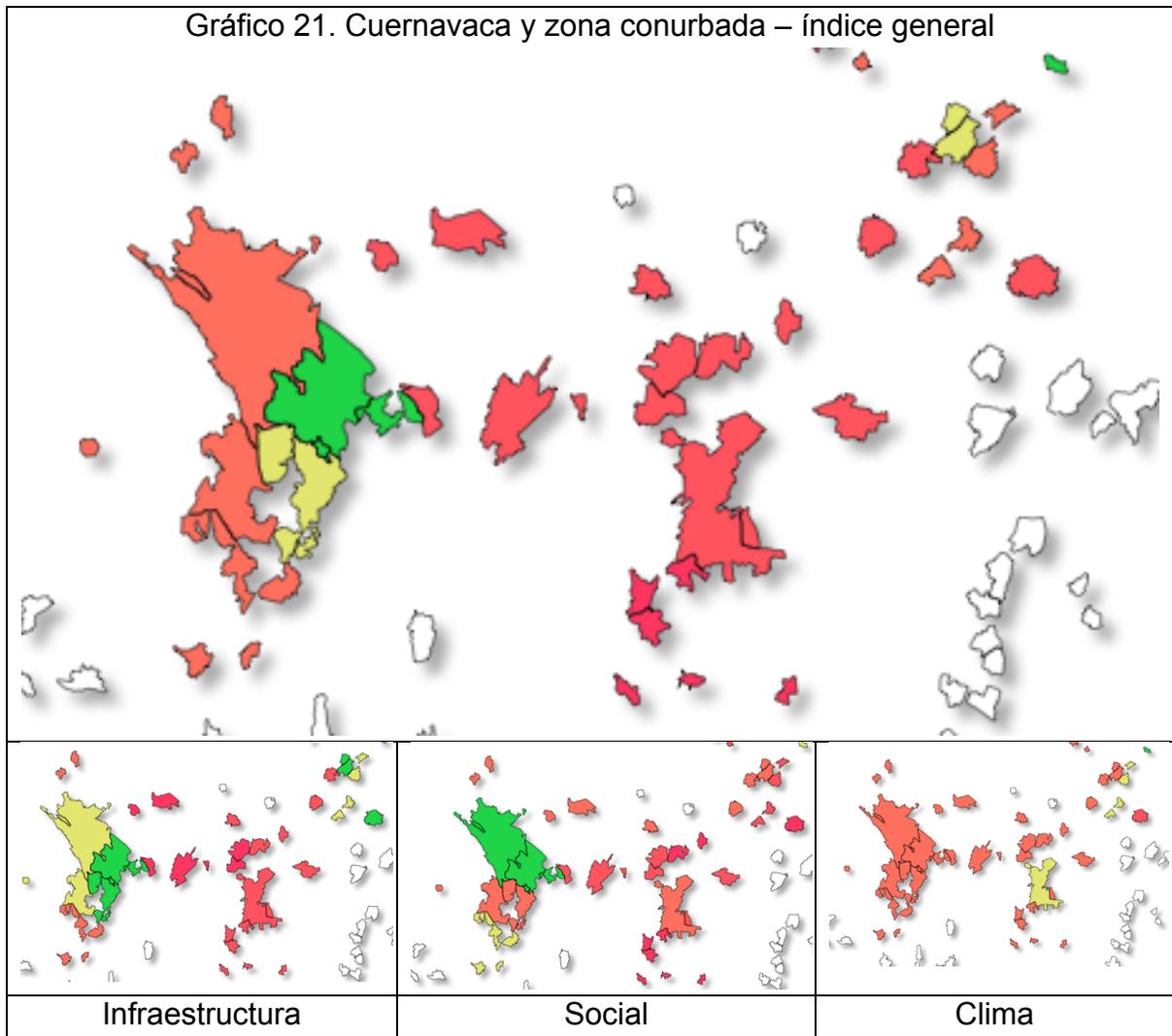


Gráfico 22. Veracruz – Jalapa – Orizaba – Córdoba – Tehuacán

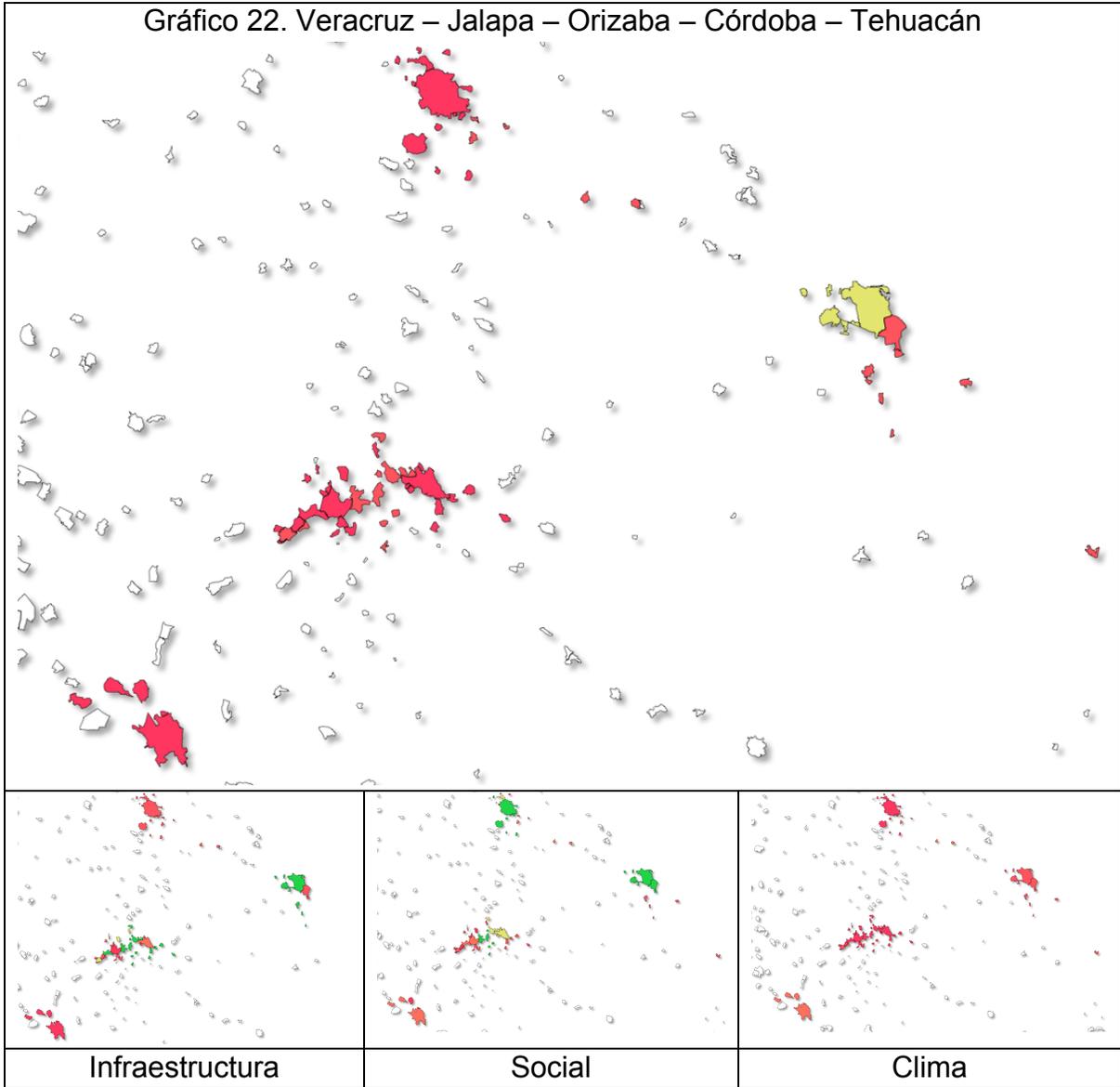
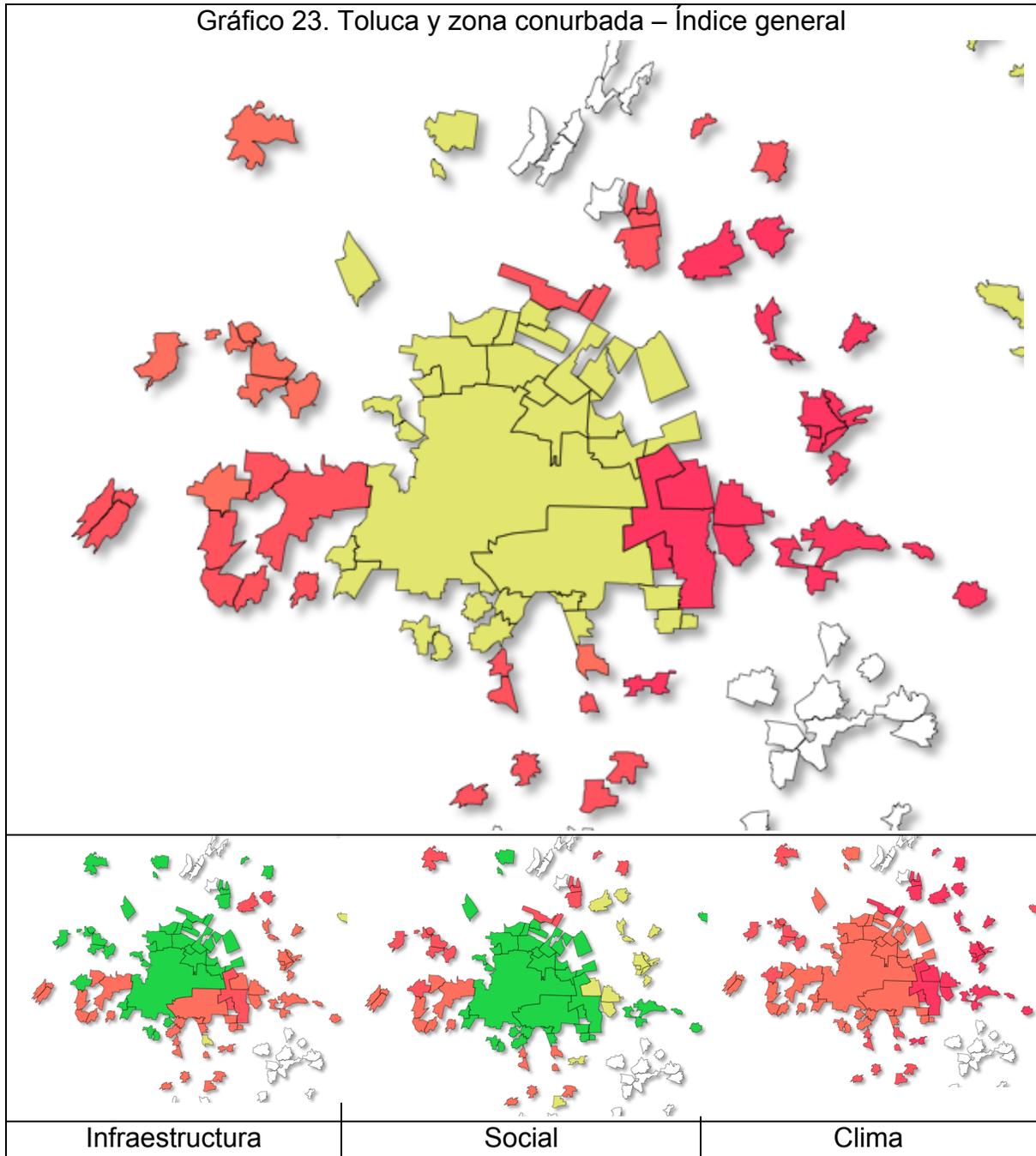


Gráfico 23. Toluca y zona conurbada – Índice general



Análisis por regiones geográficas

La vulnerabilidad municipal está sujeta a las condiciones geográficas e hidro meteorológicas históricas de la región en donde se localizan los municipios y zonas metropolitanas. Si se divide el territorio mexicano en 8 regiones diferentes de acuerdo a su ubicación geográfica y comportamiento del clima es posible llevar a cabo un estudio de las características de vulnerabilidad de cada región del país.

Es preciso decir que la división política de los estados no es un factor suficiente para evaluar las condiciones de vulnerabilidad regionales. Tamaulipas, por ejemplo, concentra climas y condiciones atmosféricas muy distintas. La zona metropolitana de Tampico-Ciudad Madero pertenece a la región conocida como Huasteca, donde el clima es cálido y húmedo, con vegetación abundante y relieves generalmente montañosos. En contraste, el mismo estado contiene a la zona metropolitana de Matamoros, la cual presenta un clima cálido pero relativamente más seco. La orografía de ese lugar propicia el desarrollo de actividades ganaderas.

Es por lo anterior que el estudio de vulnerabilidad debe ser analizado desde un marco regional más compacto, como lo son las zonas metropolitanas, que no responden a delimitaciones políticas. Sin embargo para analizar de manera general el territorio mexicano es preciso distinguir grandes regiones conformadas por varios estados. El IVC ha clasificado a los estados regionalmente de la siguiente manera:

Clasificación de los estados por región geográfica.

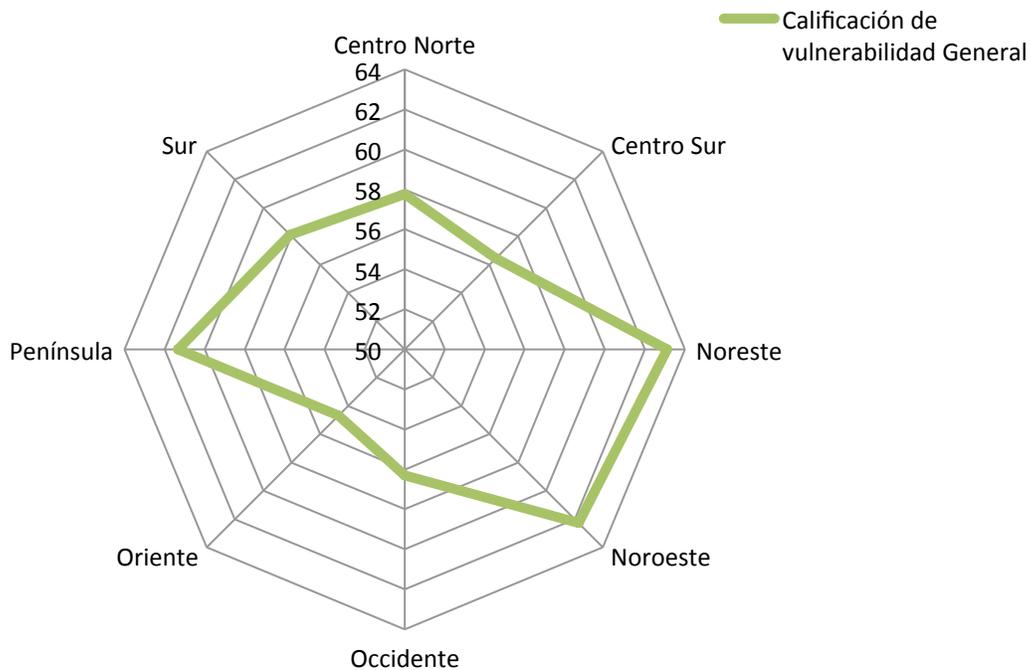
Centro Norte	Centro Sur	Noreste	Noroeste
Aguascalientes	Distrito Federal	Coahuila	Baja California
Guanajuato	Estado de México	Nuevo León	Baja California Sur
Querétaro	Morelos	Tamaulipas	Chihuahua
San Luis Potosí			Durango
Zacatecas			Sinaloa
			Sonora

Occidente	Oriente	Península	Sur
Colima	Hidalgo	Campeche	Chiapas
Nayarit	Puebla	Quintana Roo	Guerrero
Michoacán	Tlaxcala	Tabasco	Oaxaca
Jalisco	Veracruz	Yucatán	

Vulnerabilidad regional

Las calificaciones de vulnerabilidad municipales, ahora agrupadas por regiones geográficas, permiten observar en qué latitudes existe un mayor riesgo, ya sea social, de infraestructura o climático.

En el Gráfico 24 se puede apreciar que las regiones Noreste, Noroeste y Península son las menos vulnerables ante el cambio climático en general. Paralelamente las regiones Centro Sur y Oriente son zonas altamente vulnerables en comparación a otras regiones geográficas mexicanas.

Gráfico 24. Calificación de Vulnerabilidad General por región geográfica

La vulnerabilidad ante la tendencia cambiante del clima (Gráfico 25) es mayor en las regiones Centro Sur, Occidente, Oriente y Centro Norte. Dichas regiones presentan tendencias con cambios drásticos en clima independientemente de las condiciones sociales y de infraestructura. Algunas ciudades de estas regiones, a pesar de ser altamente vulnerables al cambio climático, presentan buenas calificaciones en la vulnerabilidad general ya que su capacidad de respuesta social y la calidad de la infraestructura hacen contrapeso ante sus debilidades climáticas.

La vulnerabilidad social de las regiones, representada en el Gráfico 26, presenta un comportamiento, tal que, las características sociales de las ciudades ubicadas en la región Noreste, Noroeste y Centro Sur son relativamente mejores para enfrentar fenómenos climáticos. Las sociedades de las demás regiones, en general, tienen problemas para enfrentar fenómenos derivados del cambio climático. No es sorprendente que las características sociales del Distrito Federal, Estado de México y Nuevo León, por mencionar algunos estados, tienen comparativamente un mejor desempeño al responder a contingencias climáticas.

Gráfico 25. Calificación de Vulnerabilidad Climática por región geográfica

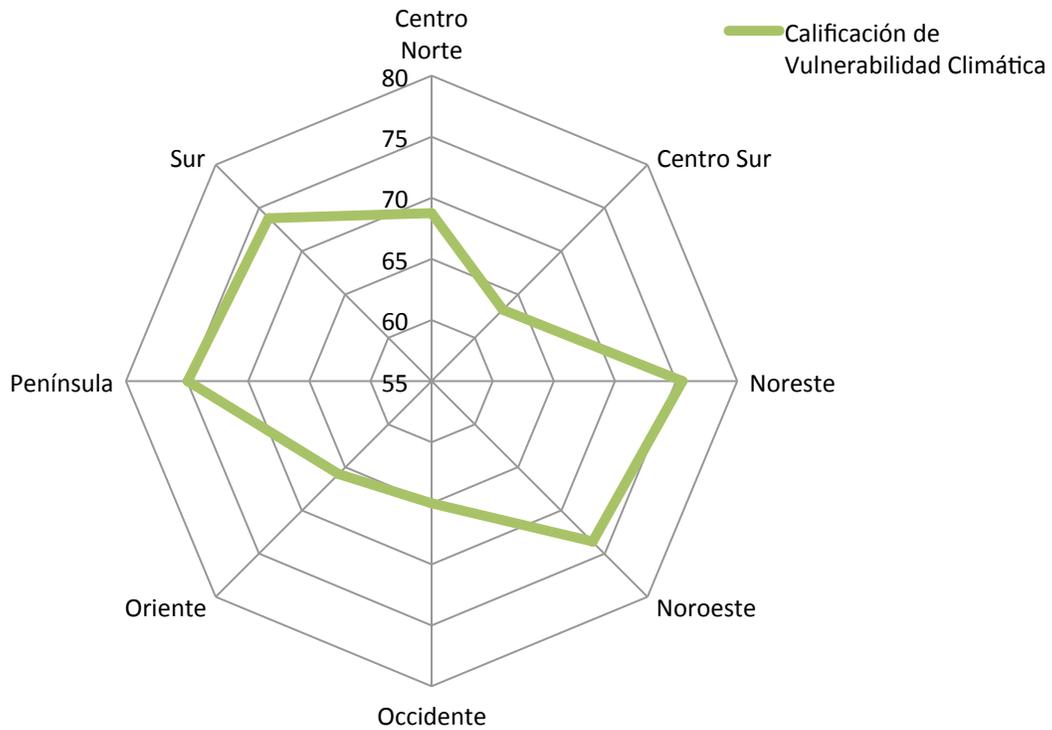


Gráfico 26. Calificación de Vulnerabilidad Social por región geográfica

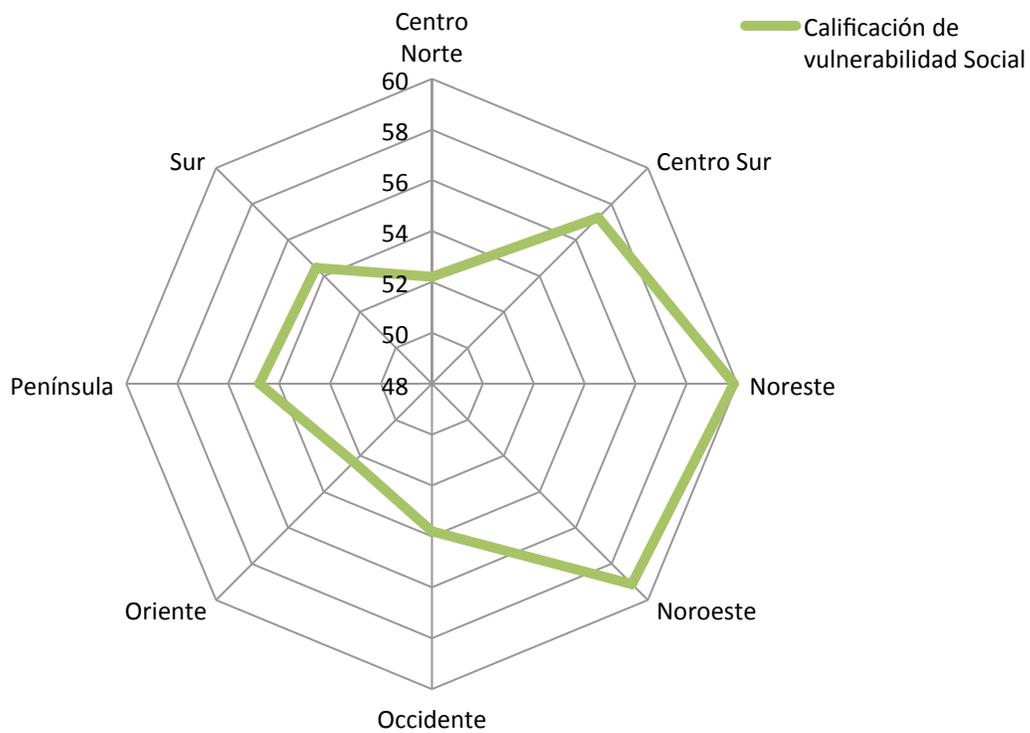
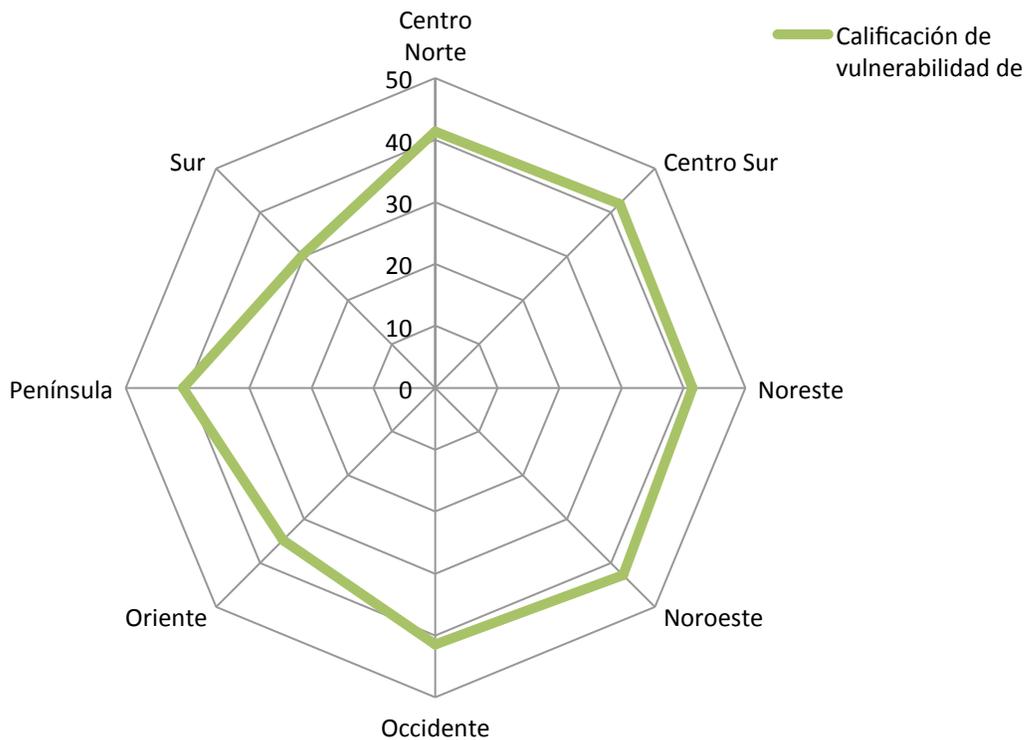


Gráfico 27. Calificación de Vulnerabilidad de Infraestructura por región geográfica



En materia de infraestructura (Gráfico 27) la zona Sur y Oriental son las menos desarrolladas, y por ello se han clasificado como áreas vulnerables ante fenómenos climatológicos. El tipo de infraestructura que se ha desarrollado en esos estados y la organización urbana de menor calidad relativa frente a otras regiones del país hacen a estas regiones más vulnerables. El gráfico también nos revela que las condiciones de infraestructura a lo largo del país son relativamente homogéneas. La zona geográfica con menor calidad de infraestructura alcanza los 30 puntos, la región que le sigue ronda los 35 puntos y las demás tienen un comportamiento cercano a los 40 puntos.

Tendencias climáticas regionales

Las calificaciones de vulnerabilidad nos arrojan información relevante sobre las condiciones sociales y de infraestructura de cada región. Un análisis más específico de las tendencias climáticas puede ser útil para interpretar en qué sentido las variables de temperatura, precipitación y velocidad del viento están cambiando en las diversas regiones del país.

A continuación se presentan algunas gráficas que ilustran las tendencias climáticas regionales.

Gráfico 28. Tendencia de temperatura por región (% de los municipios)

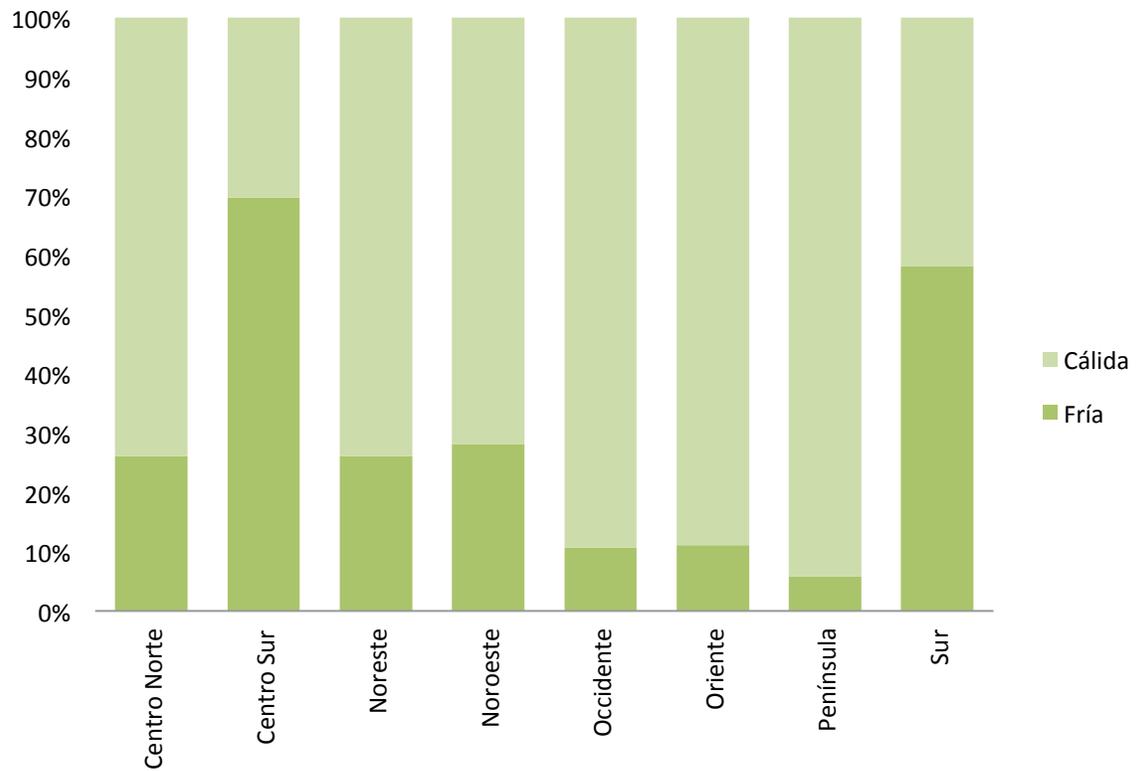


Gráfico 29. Tendencia de precipitación por región (% de los municipios)

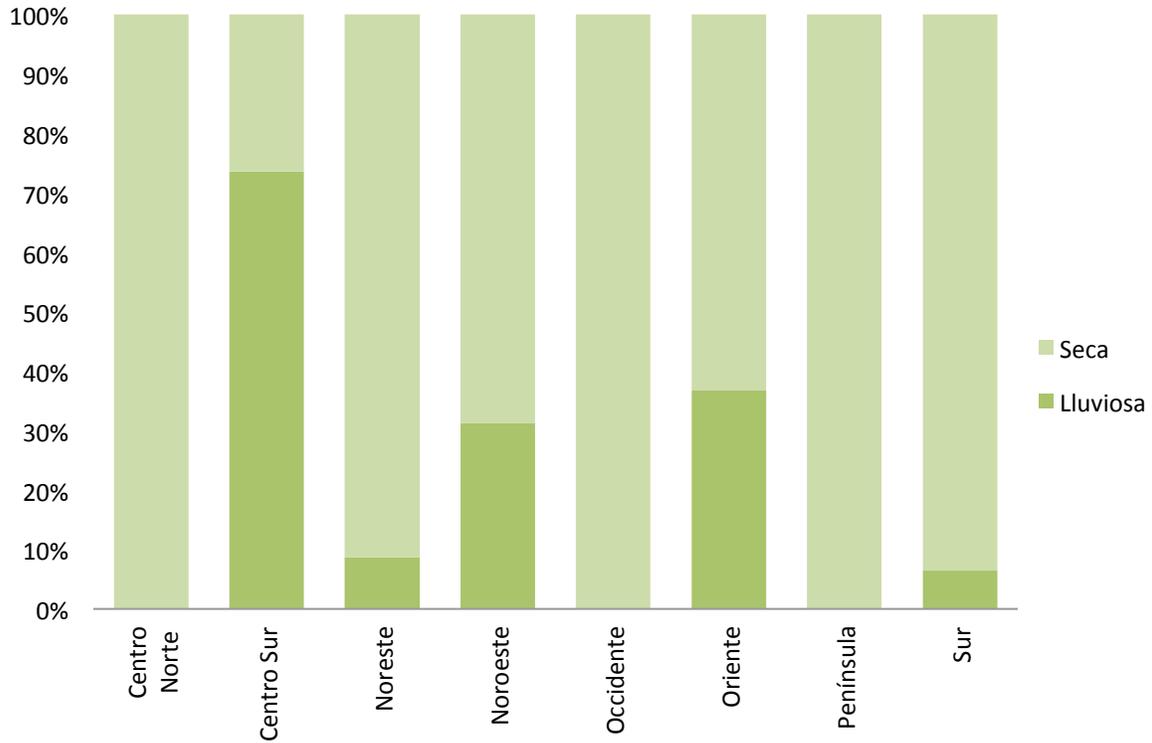
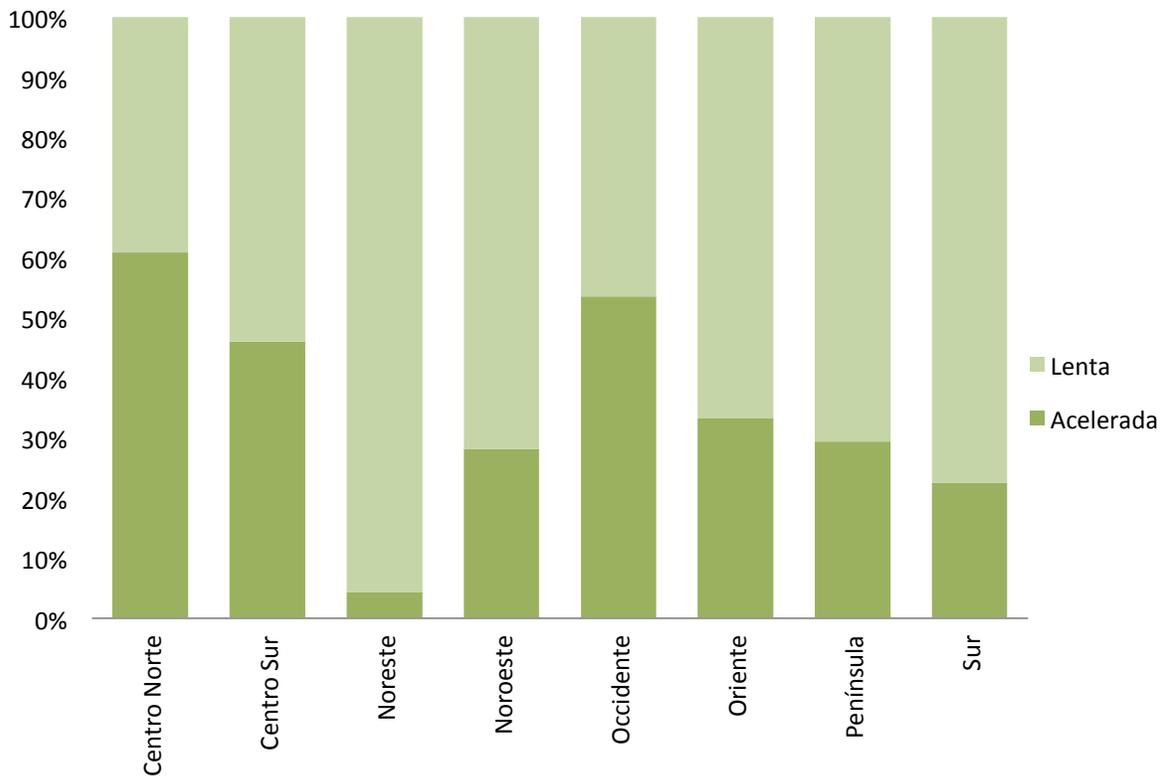


Gráfico 30. Tendencia de velocidad del viento por región (% de los municipios)



Notas destacadas de variables climáticas

Al analizarse los datos de clima, se encontraron los siguientes resultados en cuanto a la temperatura, precipitación y viento de los municipios de la muestra.

Temperatura

- En general la temperatura anual está aumentando y consolidándose en temperaturas más cálidas con menos volatilidad.
- En promedio, la temperatura de México ha aumentado 5% en la última década, pero su variabilidad ha disminuido 34.8%.
- Los meses de enero, febrero, marzo y abril reportan el mayor aumento de temperatura, el incremento promedio de temperatura para estos meses es de 5.5%.
- Los 30 municipios con mayor aumento de temperatura (28% a 40% más cálidos) se concentran en el Estado de México, Veracruz y Morelos.
- Los municipios con mayores disminuciones de temperatura han tenido descensos de entre 10% y 27%. Dichos municipios se concentran en los estados de Querétaro, Estado de México, Distrito Federal, Baja California e Hidalgo.
- Los municipios con temperaturas más volátiles se encuentran principalmente en Estado de México, Distrito Federal e Hidalgo.
- Los municipios que presentan mayor estabilidad en su temperatura disminuyeron su volatilidad entre 88% y 95%. Es decir, parece estarse consolidando una tendencia alrededor de las temperaturas promedio. Esto indica que la temperatura de una localidad dada en un mes dado es pronosticable.
- Colima, Tlaxcala, Puebla, Veracruz y Tabasco son los estados con temperaturas más estables. Pero son en promedio 19% más cálidos.
- A nivel nacional, 9 meses del año presentan datos donde la temperatura está estabilizándose, mientras que en los 3 meses restantes del año la temperatura es más volátil.
- En promedio, 7.8 meses del año presentan aumentos de temperatura en esta década y únicamente en 4 meses la temperatura desciende, con respecto a los meses comparables de décadas pasadas.
- El 66% de los municipios se ha vuelto más cálido en más de 6 meses del año y el 34% ha experimentado una temperatura más fría a lo largo del año.

Precipitación

- Los 30 municipios y delegaciones que han reportado mayores cambios en la precipitación media anual se encuentran en el Estado de México y el

Distrito Federal. El incremento en la precipitación promedio anual de estos municipios y delegaciones oscila entre 250% y 444% más en los últimos años.

- Los municipios que presentan mayor disminución de precipitación media anual (entre 53% y 93% menos lluvia) en comparación a años pasados se encuentran en: Veracruz, Michoacán, Coahuila, Durango, Sonora, Colima, Oaxaca, Sinaloa y Guanajuato.
- Los estados con precipitación más volátil se localizan en los estados de: Hidalgo, Estado de México y Distrito Federal. En promedio, los 30 municipios que se han hecho más volátiles en precipitación han visto incrementada su variabilidad en 540%
- La reducción de volatilidad en precipitación de los municipios más estables fue de entre 58% y 97%, estos se encuentran en los estados de: Michoacán, Veracruz, Durango, Coahuila, Colima, Guanajuato, Jalisco, Yucatán, Chiapas y Zacatecas.
- En promedio, 7 meses del año registran lluvias con menor volatilidad, mientras que los 5 meses restantes se registra mayor volatilidad en la precipitación.
- En promedio, 6 meses del año se han tornado más lluviosos y la otra mitad de los meses más secos.
- El 65% de los municipios se han hecho más secos en al menos 6 meses del año, y el 35% faltante es más lluvioso en la mayoría de los meses del año.
- A nivel nacional, la precipitación ha aumentado 40% anualmente y se ha hecho más variable en 73%. A pesar de existir una mayoría de municipios (65%) que a lo largo del año son más secos, los aumentos tan extremos en la precipitación en el resto de los municipios hace que el nivel de precipitación media nacional aumente.
- El 47% de los municipios tiene en promedio más precipitación en años recientes. El otro 52% registro cambios negativos en el nivel de lluvias, es decir, son más secos.
- Los municipios en los cuales la precipitación es mayor, cambiaron sus niveles de lluvia de manera muy violenta, mientras que los municipios que durante el año tienen más meses secos, han disminuido su cantidad de lluvia de manera discreta.
- Marzo, mayo, junio, agosto y septiembre son los meses en donde se registran los aumentos más grandes en precipitación a nivel nacional. En invierno, se nota una tendencia de sequías pero de menor intensidad.

Velocidad del viento

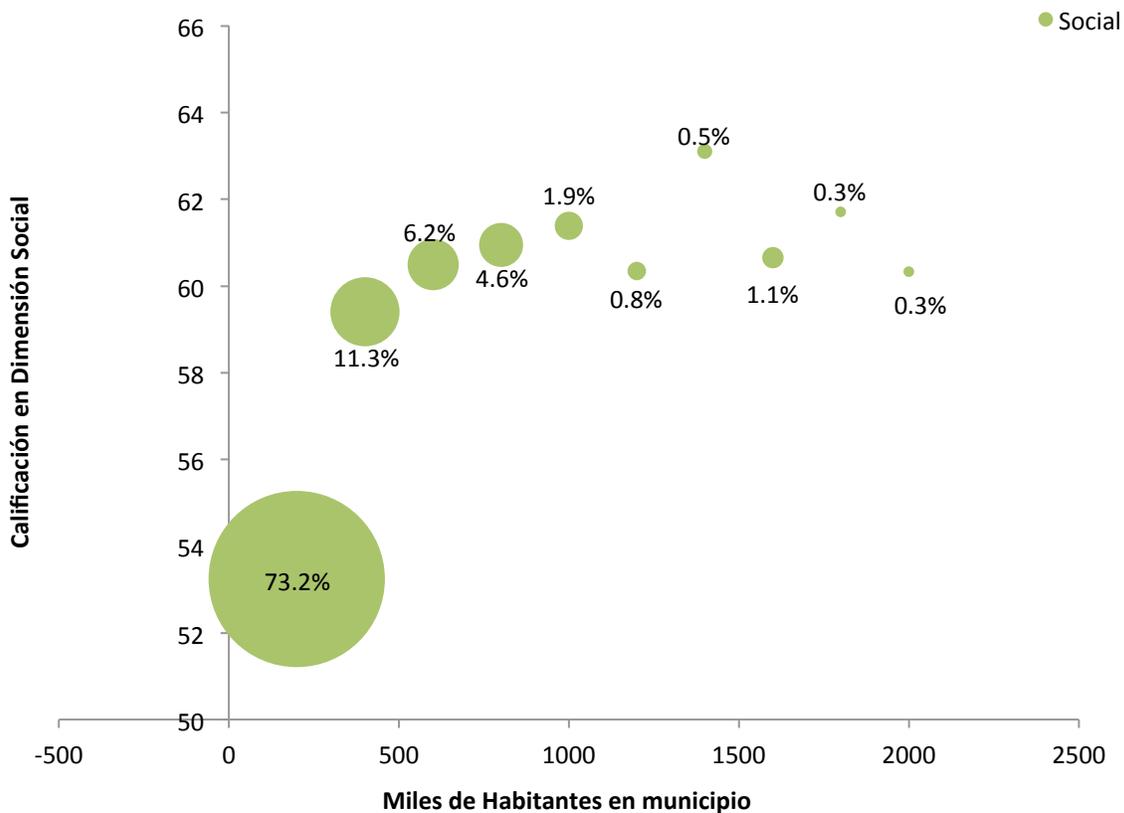
- En promedio, la velocidad del viento en México ha disminuido aproximadamente en 7% y la variabilidad de los datos ha disminuido en 15%.
- El 41% de municipios registra en promedio anual aumentos en la velocidad del viento, mientras que el 58% reporta vientos más lentos en los últimos años.
- Los municipios que presentan mayores cambios porcentuales en la velocidad del viento (aumentos entre 35 y 75%) muestran una tendencia hacia menor volatilidad. Estos se encuentran en las entidades de: Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Jalisco, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Hidalgo y Quintana Roo.
- Aquellos municipios donde ha disminuido la velocidad del viento (en promedio de 46 a 56% menos) se encuentran principalmente en: Veracruz, Estado de México, Guanajuato, Morelos y Chiapas.
- En promedio, se observa que en 7.4 meses del año los vientos disminuyen su velocidad y en el resto se registran mayores velocidades .
- La variabilidad en velocidad se ha visto disminuida en 8.5 meses del año en promedio y en los meses restantes la volatilidad aumentó.
- El 63% de los municipios experimenta vientos lentos en la mayoría de los meses del año, y 37% ha notado una velocidad creciente en la mayor parte de los meses del año.
- Junio, julio, agosto y septiembre son los meses donde la velocidad del viento es menor.

Análisis por tamaño de población

Dentro del universo de municipios analizados en el IVC, se observó que de las 373 poblaciones, 73.2% de ellas tienen una población inferior a los 200 mil habitantes y dichos municipios son los que presentan calificaciones más bajas en el subíndice de vulnerabilidad social. A pesar de que en el índice no se toman en cuenta comunidades rurales (comunidades con menos de 2500 habitantes de acuerdo al INEGI) es posible distinguir que aquellos municipios menos poblados son los más vulnerables ante el cambio climático y su impacto directo en las personas.

No es difícil pensar que las poblaciones con menor número de habitantes sean también las comunidades más pobres y alejadas del centro de las zonas metropolitanas. La vulnerabilidad social es mucho mayor en comunidades pequeñas como las descritas anteriormente.

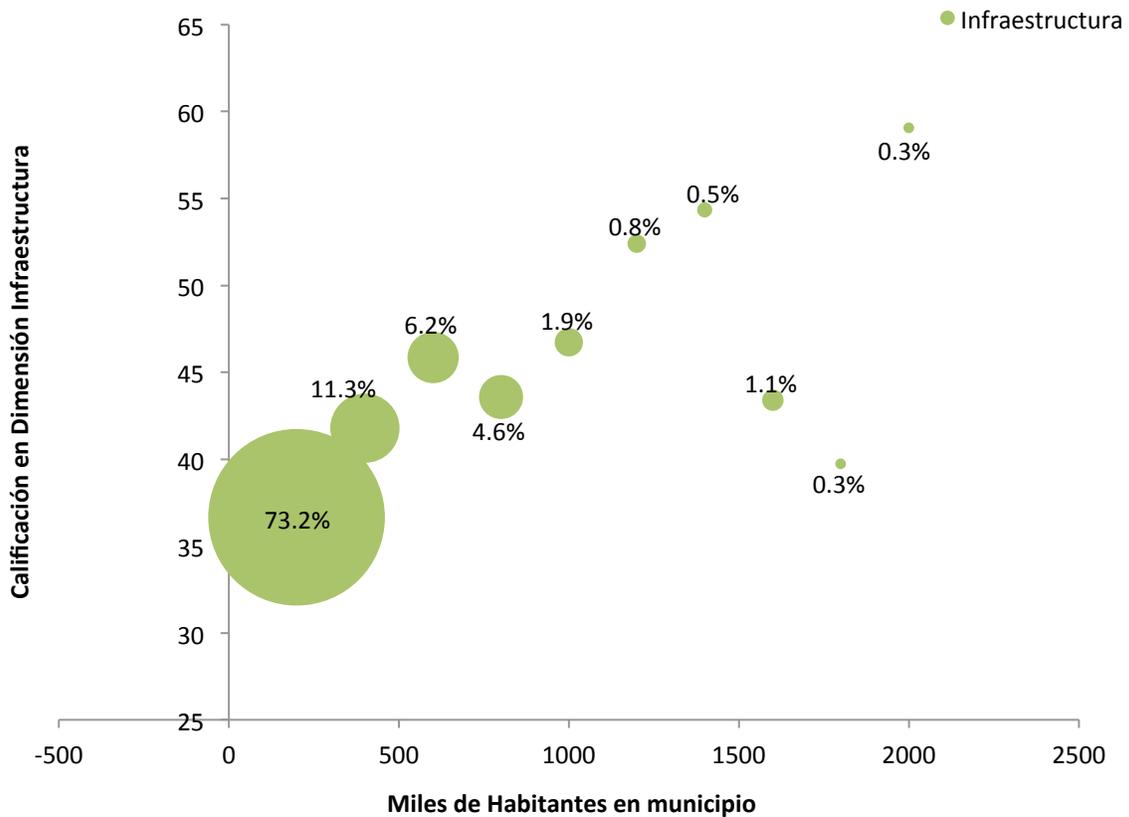
Gráfico 31. Habitantes en municipio, Calificación de Vulnerabilidad Social y Porcentaje de los municipios



Los municipios con menos de 200 mil habitantes tienen una calificación de alrededor de 53 puntos, mientras que aquellos con una población mayor se encuentran consistentemente por arriba de los 59 puntos.

Una población pequeña puede asociarse con menores niveles de inversión en infraestructura y es por esta razón que el análisis se realizó también para el subíndice que mide la calidad de infraestructura en los municipios. La gráfica muestra una tendencia similar a la que se encontró con datos de calificación de vulnerabilidad social. En este caso, los municipios más pequeños obtuvieron una calificación cercana a los 36 puntos. Los municipios con más de 200 mil habitantes pero menos de 400 mil, en promedio, obtuvieron calificaciones cercanas a 41 puntos.

Gráfico 32. Habitantes en municipio, Calificación de Vulnerabilidad de Infraestructura y Porcentaje de los municipios



Los municipios de entre 1 millón 500 mil y 1 millón 800 mil personas no siguen la tendencia que se observa para los demás grupos de municipios. Su comportamiento puede deberse a cuellos de botella en el financiamiento de obras de infraestructura y el crecimiento acelerado de su población dadas algunas características, ya que éstas son de las ciudades más grandes del país. Se debe subrayar que éste grupo incluye muy pocas observaciones.

La vulnerabilidad climática y general, en contraste, no se asocia de manera significativa con el tamaño de la población que habita los municipios. Es mucho más probable que la vulnerabilidad climática responda solo a factores como la ubicación geográfica y las características climatológicas históricas del espacio donde se ubican.

Gráfico 33. Habitantes en municipio, Calificación de Vulnerabilidad ante Clima y Porcentaje de los municipios

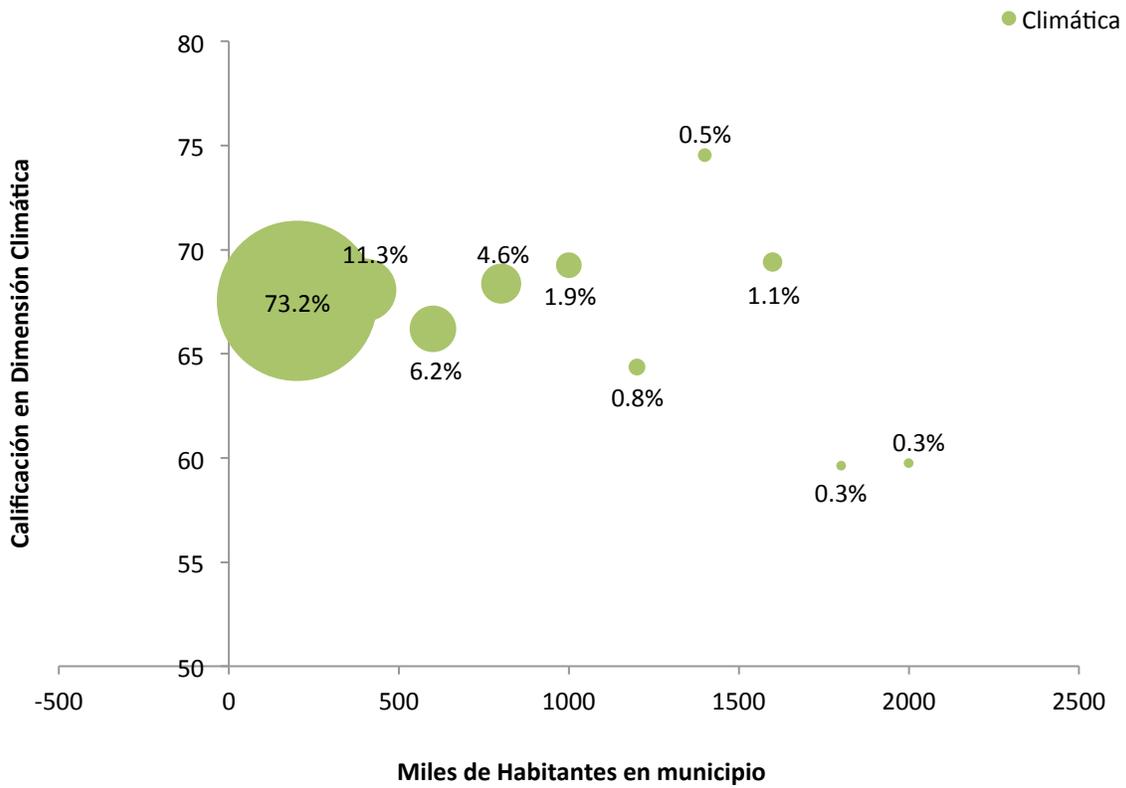
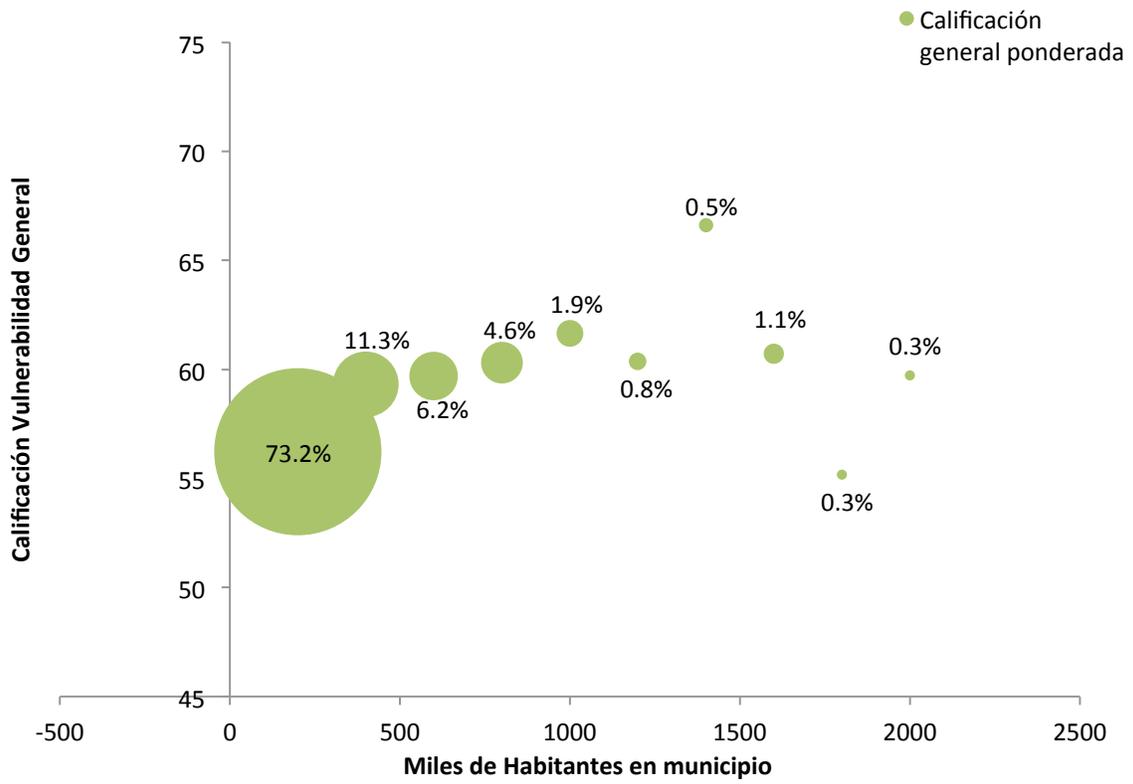


Gráfico 34. Habitantes en municipio, Calificación de Vulnerabilidad General y Porcentaje de los municipios



Hallazgos

Dice la CONAGUA (2011) que “históricamente las inundaciones han afectado principalmente a las regiones hidrológico-administrativas Valle de México y Frontera Sur, lo que explica que las inversiones se concentran en tales regiones. Sin embargo existen otras regiones en las que es necesario incrementar las inversiones en este rubro, como es el caso de Golfo Centro y Península de Yucatán”. La vulnerabilidad es mayor en aquellos lugares donde los eventos hidrometeorológicos extremos son poco probables, porque nadie está correctamente preparado para ello. Los recursos de inversión en infraestructura tienen un costo de oportunidad. ¿Dónde hay que poner la infraestructura para enfrentar fenómenos extremos?

Antes de responder a esta pregunta, vale una reflexión sobre el clima y su efecto en las ciudades. Un hallazgo interesante de este análisis es que las ciudades que recurrentemente presentan problemas de inundaciones, como Villahermosa o Valle de Chalco, no tienen climas divergentes de acuerdo a la base de datos de los últimos cuarenta años. Estos son lugares en donde la explosión demográfica y el caos imperante en la dinámica de crecimiento urbano han puesto grandes comunidades humanas en lugares proclives a inundarse por ser esa su vocación. Los responsables políticos de estas inundaciones usualmente hablan de inundaciones atípicas. Sin embargo, no hay nada atípico en esos fenómenos desde el punto de vista del clima. Lo atípico es la presencia humana ahí.

En estos lugares, la política pública enfrenta dilemas importantes, dada la elevada probabilidad de inundación. Dentro de un régimen democrático es virtualmente imposible pedir a la gente que habita estos lugares fácilmente inundables que se vaya a vivir a otra parte. Hay, además, un componente de irreversibilidad en la decisión de grupos humanos de establecerse en determinado lugar, a menos que haya un evento de proporciones tan catastróficas que los obliguen a cambiar de lugar de residencia.

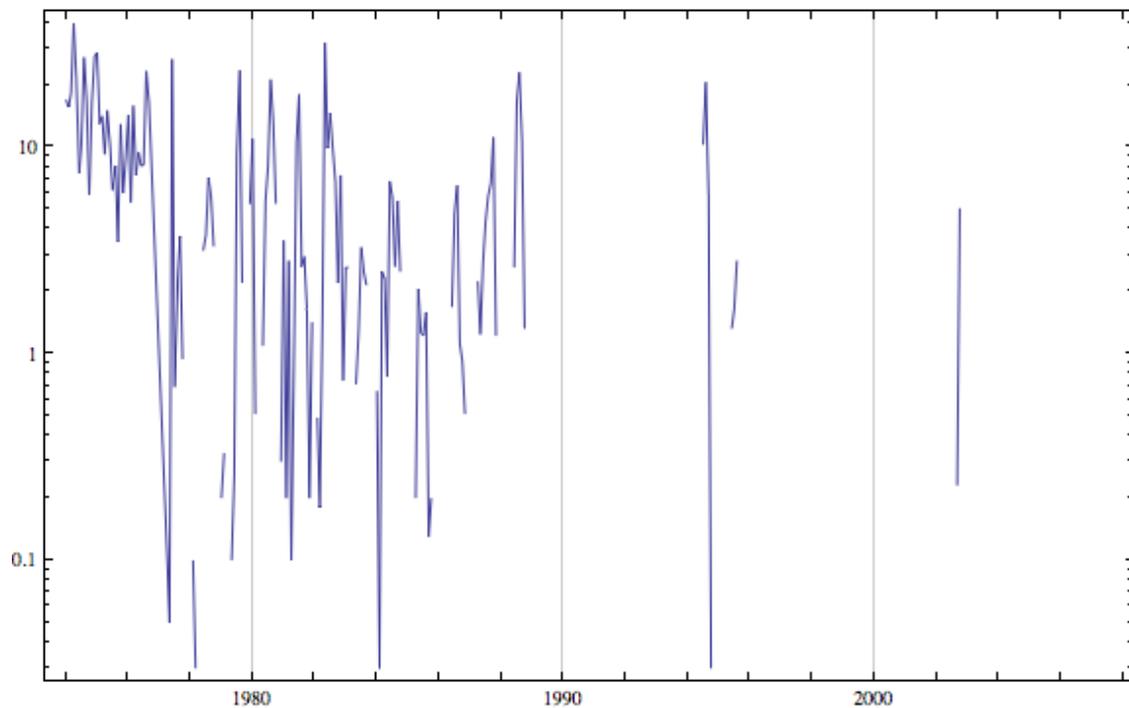
También, sería costoso para el estado comprarle la tierra a sus actuales propietarios para evacuar estas zonas, y difícilmente se puede lograr que no haya nuevos ocupantes que la invadan.

Además, construir infraestructura adicional para contener fenómenos hidrometeorológicos extremos genera un problema de incentivos: más gente decidirá ir a vivir a los lugares proclives a inundaciones, generando mayores desequilibrios ecológicos por presión sobre los recursos hídricos. El fenómeno de hundimiento del subsuelo en Valle de Chalco ejemplifica claramente este dilema, ya que el

hundimiento se ha dado por la presión humana sobre el agua subterránea. A su vez, el hundimiento del suelo está causando una mayor probabilidad de inundación (Ortiz y Ortega, 2007). Estos investigadores del Instituto de Geografía de la UNAM incluso hablan de la formación de un nuevo lago en la planicie de Chalco debido a la construcción y operación desde los años 1980 de 14 pozos denominados Sistema Mixquic-Santa Catarina.

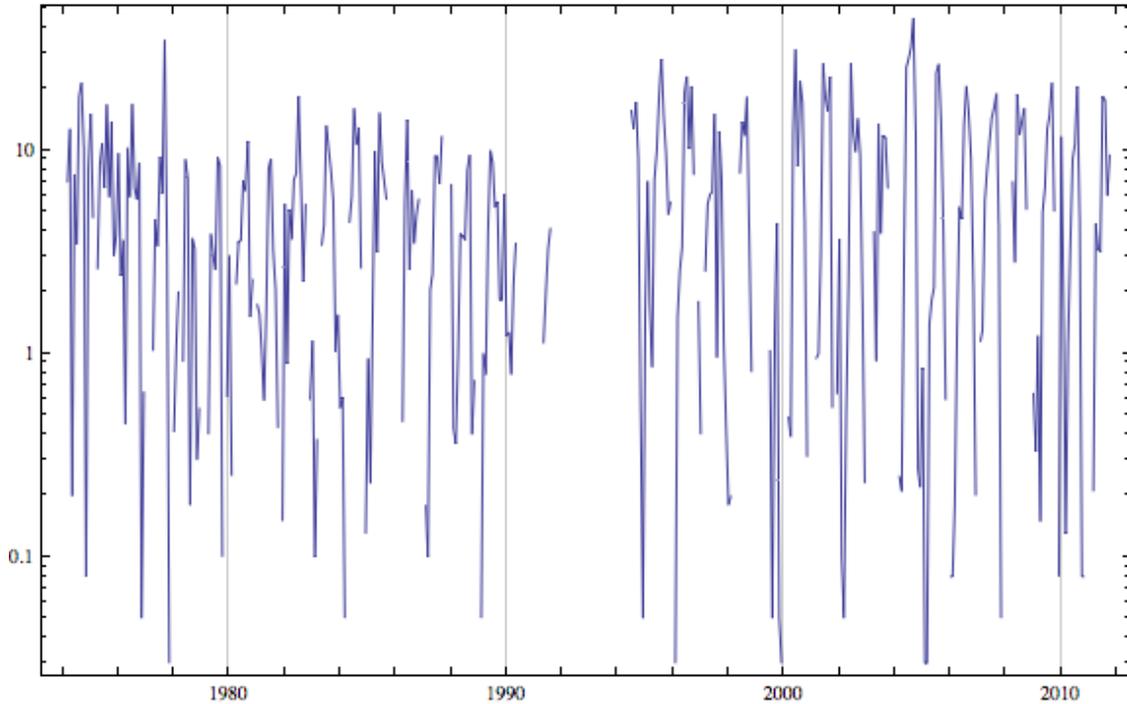
Por otro lado, localidades como Uruapan, Michoacán, están viviendo un fenómeno en donde las variables climáticas están cambiando su promedio y también cuya volatilidad está aumentando. Las inundaciones de 2009 y 2011 son producto de este fenómeno cambiante. La longitud de nuestras bases de datos (y la calidad de los datos) no nos permite inferir si estamos enfrentándonos a situaciones que ocurren una vez cada 100 años, o cuya frecuencia es aún menor. En el caso de Uruapan, la metodología detectó un cambio importante en la base de datos de la estación meteorológica MMPN (que está a 4 km del centro de Uruapan), ya que no registra lluvias extremas desde 2003-2004. Sin embargo, en 2009 y 2011 ocurrieron inundaciones en esa ciudad, que aparentemente no fueron registradas por la estación meteorológica.

Gráfico 35. Precipitación promedio mensual (mm) de la estación meteorológica MMPN, Uruapan, Michoacán (escala logarítmica). 1974-2011



En Valle de Chalco, el promedio de precipitación mensual nos muestra un patrón cíclico y recurrente. Hay un problema de medición en el período 1992-1994, pero vemos que ahí las lluvias que causan inundaciones deberían ser fácilmente predecibles, a pesar de que la estación MMMX está a casi 27 kilómetros del centro geográfico del Valle.

Gráfico 36. Precipitación promedio mensual (mm) de la estación meteorológica MMMX, Valle de Chalco, Estado de México (escala logarítmica). 1974-2011



Como se vio anteriormente, es posible que la metodología capture errores de medición y no necesariamente cambios en los patrones de clima. El problema parece ocurrir de manera mucho más importante en la precipitación que en la temperatura y la velocidad del viento.

Gráfico 37. Temperatura (°C) y velocidad del viento (km/h) en Valle de Chalco, 1974-2011

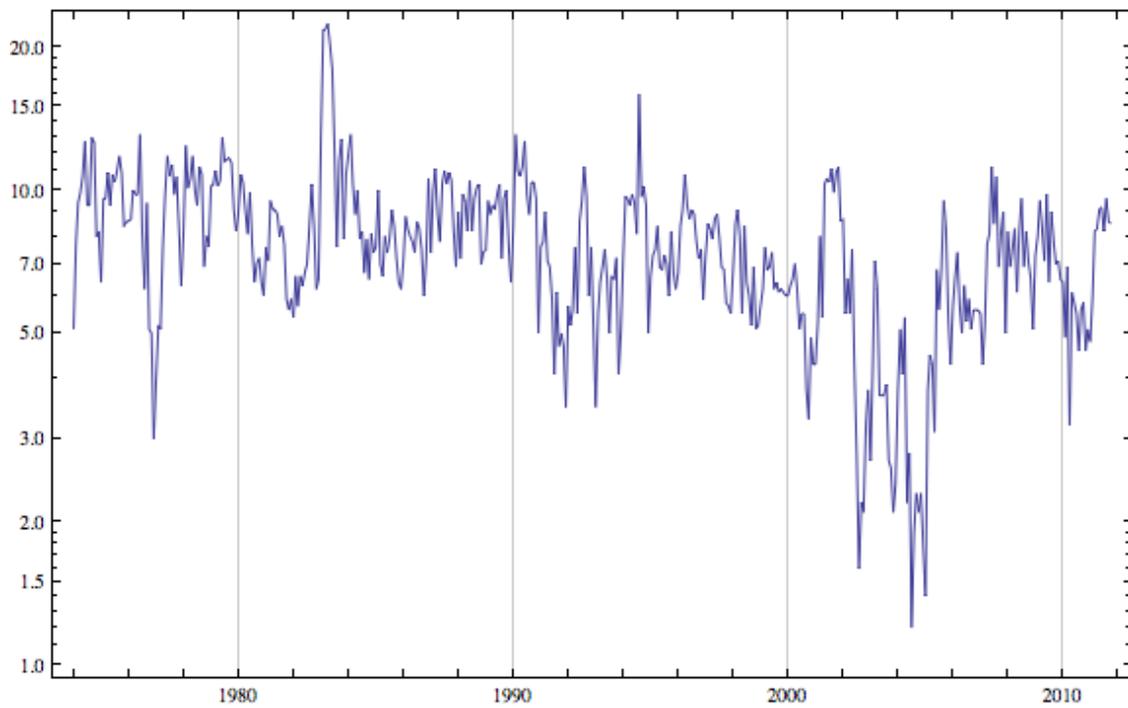
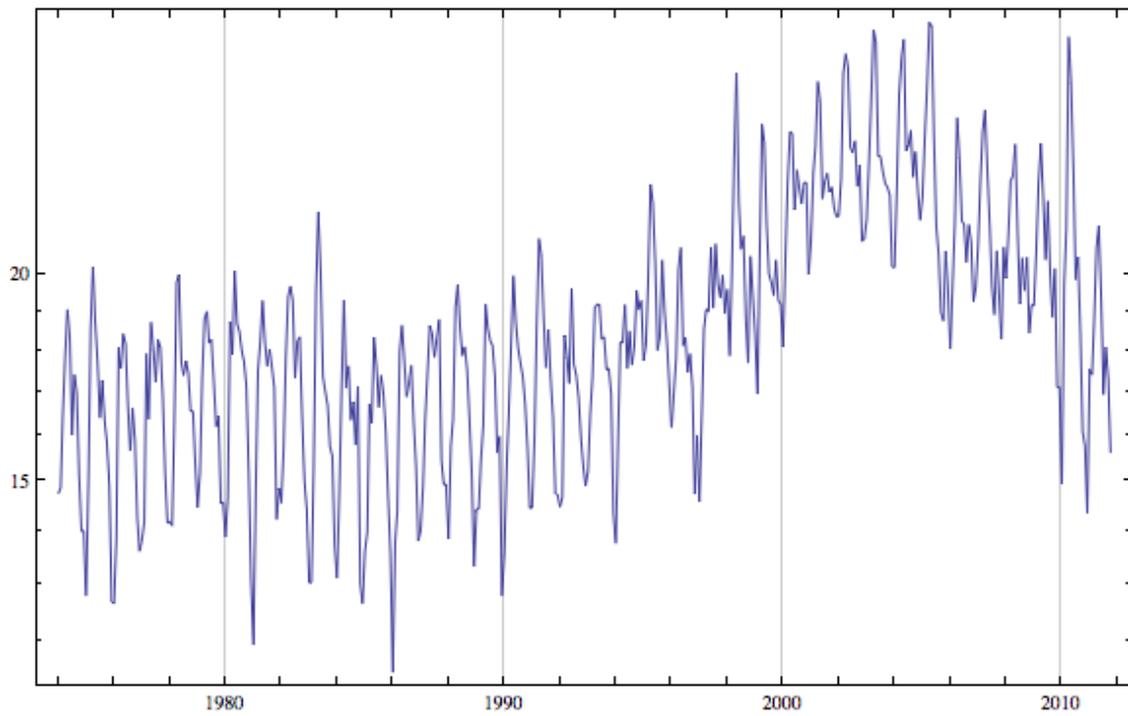
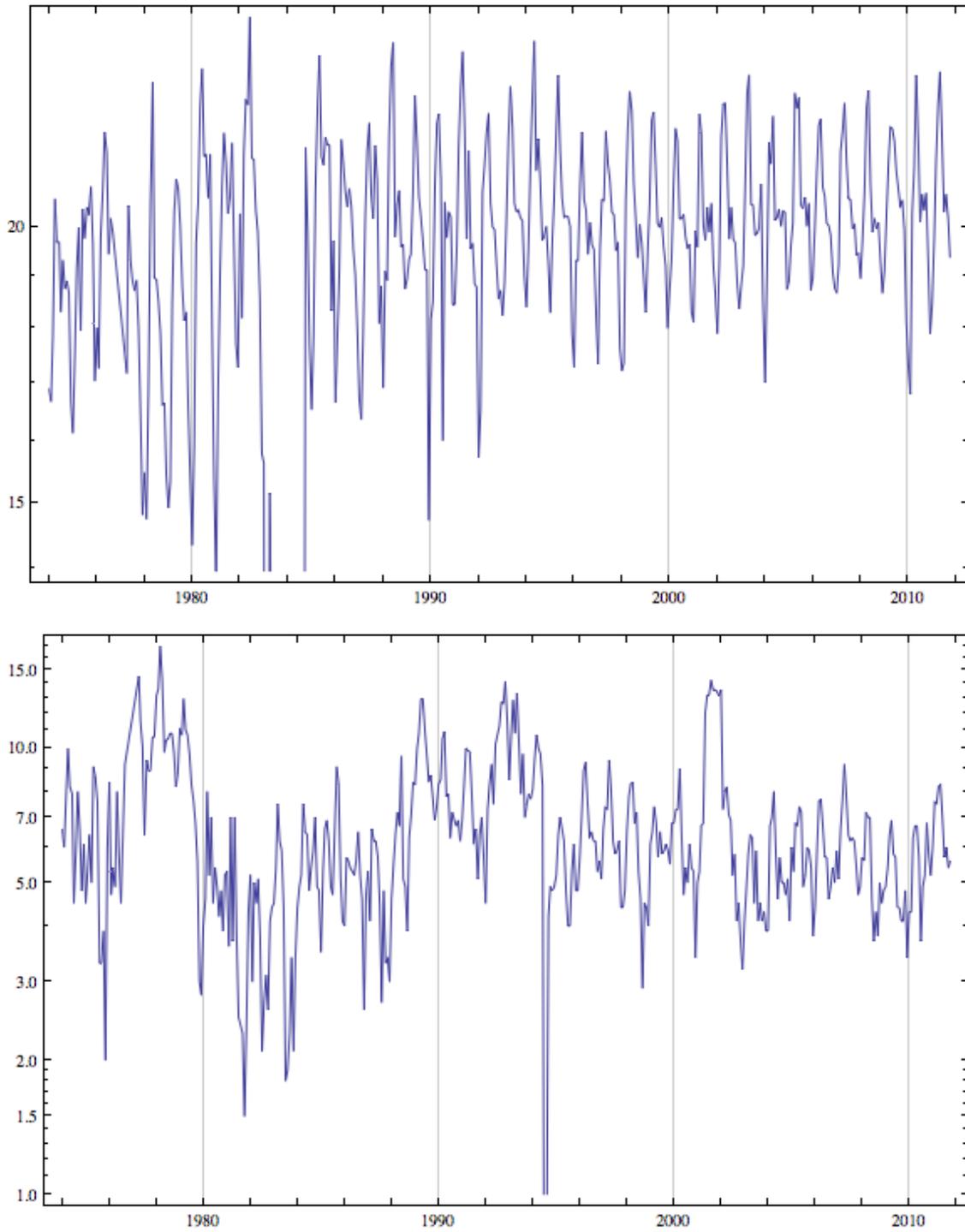


Gráfico 38. Temperatura (°C) y velocidad del viento (km/h) en Uruapan, Michoacán. 1974-2011



Claramente, en Valle de Chalco la temperatura promedio pareciera haber cambiado enormemente en la década 2000-2010, aunque también podría inferirse un comportamiento cíclico. La mayor temperatura en la década pasada en Valle de Chalco parece estar asociada a una velocidad del viento menor y más volátil.

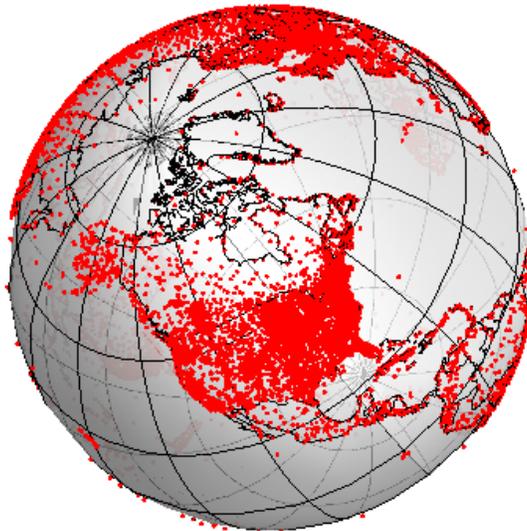
En Uruapan, vemos un fenómeno de convergencia de la temperatura promedio en las décadas recientes con respecto al período 1970-1980, y la velocidad del viento parece seguir un patrón similar. Los eventos climáticos extremos de 2009 y 2011, que no aparecieron en el pluviómetro que está a cuatro kilómetros de esa ciudad, parecen ser eventos aleatorios. La base de datos no nos permite inferir que sean consecuencia del cambio climático.

El costo de poner infraestructura para proteger a la población de eventos hídricos extremos puede ser demasiado alto. Hay lugares del mundo, como Holanda, donde es inconcebible hacer otra cosa. Lo importante es que la sociedad y los planeadores públicos estén plenamente conscientes de las probabilidades de eventos hídricos extremos, para que se planifiquen las inversiones en infraestructura y los métodos de protección civil de manera adecuada.

Recomendaciones de política pública

La primera recomendación que es importante exponer es que el Servicio Meteorológico Nacional, que depende de la Universidad Nacional Autónoma de México, necesita reforzarse con más y mejores recursos para tener mejores mediciones climáticas. La densidad de estaciones hidrometeorológicas es muy inferior en México que en otros países. El diagrama que se muestra en el Gráfico 39 (abajo) muestra cómo la densidad de las estaciones en México es menor a Estados Unidos y el Caribe e incluso que países centroamericanos como Nicaragua.

Gráfico 39. Densidad de estaciones meteorológicas en el mundo.



Fuente: Mathematica WeatherData

Una mayor densidad de estaciones de monitoreo atmosférico redundará en mejores mediciones, modelos y predicciones de clima, lo cual beneficiará a industrias desde la aviación hasta el entretenimiento. Si los datos recabados se hacen públicos y están disponibles a la comunidad científica internacional, la adaptación de México al clima cambiante será mucho mejor. Esto no implica costos impagables para el erario público – y es de fundamental importancia para evitar desastres.

Es necesario atender a los eventos climatológicos de aparición rápida como aquellos que son eventos crónicos, debido a su lenta aparición. Generalmente, los

eventos de lenta aparición no son atendidos ya que los cambios son pequeños, lo que dificulta identificarlos. Los efectos de los cambios en el clima se ven reflejados en la salud de la población, así como en sus recursos naturales y actividad económica (en especial agricultura y ganadería).

Es importante generar incentivos para que instituciones especializadas en lidiar con riesgos relacionados al clima, como las aseguradoras, compartan información con el gobierno respecto a las posibles contingencias del clima. Los esquemas de aseguramiento público son muy útiles, pero es trascendental que la población asegurada sepa que está asegurada. De otra forma, no hay claridad respecto a quien debe cobrar las indemnizaciones en casos de desastre. Es claro que la secrecía de los modelos de clima de cada aseguradora les da ventajas en el mercado, pero también es indispensable que el ente regulador de los seguros, la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, concentre la información de riesgos climáticos geográficamente localizados y la haga pública, por ejemplo a través de mapas que permitan comparar la prima de seguro catastrófico por inundación en distintas ciudades de México.

En general, en las grandes ciudades parecería haber una mayor vulnerabilidad en las zonas periféricas de la ciudad que en el centro. Esto es consistente con los hallazgos de IMCO (2009, 2010), que abogan por ciudades más compactas, con usos de suelo mixto, redes de transporte público eficientes, y vías propicias para el tránsito peatonal.

En el aspecto de salud, aumento de la temperatura provoca la expansión de enfermedades que se transmiten mediante el agua e insectos, aumenta la prevalencia de diarrea, se extienden los problemas relacionados con enfermedades cardiovasculares y respiratorias (especialmente en adultos mayores). Aquellos municipios que su temperatura promedio ha aumentado pueden tener todos estos problemas. Se recomienda que se realicen campañas preventivas e informativas a la población sobre los posibles problemas y cómo disminuirlos. La disminución en la temperatura aumenta la prevalencia de enfermedades respiratorias, en especial en niños y adultos mayores. En municipios con clima más extremo se recomienda la instalación de albergues temporales para evitar muertes por hipotermia.

El aumento de la precipitación eleva la prevalencia de las enfermedades transmitidas por mosquitos y por roedores. En cambio la disminución de precipitación puede provocar en un plazo mala alimentación en la población, debido a la disminución de la producción agrícola y ganadera de la región. Es muy

importante que el agua se cobre de manera que refleje tanto la escasez, la distribución y la extracción. La política de no cobrar el agua es un subsidio a los grandes productores agrícolas, no ayuda a los más pobres (Datshkovsky, 2011).

Seguros y derivados climáticos

De acuerdo con Dischel y Barrieu (2002), un derivado climático es un contrato contingente para el cual su pago está determinado por eventos futuros del clima. El valor de liquidación de los eventos climáticos puede estar definido por un índice climático.

Un contrato financiero para el clima puede ser de dos formas: derivado climático o seguro climático. La diferencia entre estos contratos radica en que los seguros climáticos, las indemnizaciones son pagadas después que los daños fueron cuantificados adecuadamente. Los seguros tradicionales están diseñados para la ocurrencia de eventos catastróficos. En cambio los derivados climáticos se pagan cuando sucede un determinado estado, en este caso un determinado estado del clima. Esta característica que los diferencia hace más atractivo a uno u otro instrumento.

Los derivados climáticos pueden ser utilizados para negocios que están expuestos a variables climáticas como los son la agricultura y ganadería, aunque muchas ocupaciones urbanas se ven afectadas por el clima. Por ejemplo, en México, una fonda de comida corrida la cual tiene sus mesas al aire libre se ve afectada cuando llueve. En este caso, el dueño puede comprar un derivado climático para los días lluviosos. Los derivados utilizados en la agricultura deben de cumplir ciertas características: la variable climática debe ser medible, deben de existir registros históricos y todos los agentes involucrados en la transacción deben considerar esas medidas como objetivas y confiables. El punto más importante para un mercado de derivados climáticos en la agricultura depende en la presencia de una relación clara y suficiente entre el clima y la variabilidad del producto.

Este tipo de instrumentos para reducir el riesgo de los agricultores es importante para México. De acuerdo con la Comisión Nacional para las Zonas Áridas (CONAZA, 2010), la principal razón de las pérdidas de cultivos es por la sequía y el calor con 47%, es decir casi la mitad de los siniestros. Las otras causas son: exceso de humedad (22%), frío, hielo y nieve (13%), granizo (9%). Bajo un esquema de instrumentos climáticos, los agricultores podría utilizarlos para disminuir su riesgo. Para el año de 2011, el Secretario de Agricultura, Ganadería,

Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Francisco Mayorga Castañeda, informó que ya se han entregado 485.6 millones de pesos a los 15 estados más afectados por heladas y sequías en 2011. (Sagarpa, 2011). Estos recursos se podrían dirigir a la construcción de mercados de derivados climáticos, que no únicamente funcionen para el campo, sino para cualquier otra actividad la cual esté afectada por el clima. Ya existen algunos esquemas de este tipo en la aseguradora pública Agroasemex, con el grave inconveniente de que son macro-bonos catastróficos contratados por los gobiernos estatales. La gente no sabe que está asegurada y tampoco está consciente de los riesgos climáticos a los que está expuesta. Por ello, el conocimiento local no agrega a la información pública sobre el tema.

Un mejor esquema, que podría estudiarse en otra investigación, es vender derivados climáticos a través de la lotería. Si la gente hace apuestas controladas sobre el fútbol, podría hacerlas sobre un riesgo que afecta más sus vidas que el marcador de determinado partido.

Lista de referencias bibliográficas

- Adger, W., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Tyndall Centre.
- Brooks, N. (2003). *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*. Tyndall Centre.
- Conaza. (2010). *Agricultura de temporal y su relación con la sequía*. Sagarpa.
- Cutter, S., Emrich, C., Webb, J., & Morath, D. (2009). *Social vulnerability to climate variability hazards: A review of the literature*. Oxfam America.
- Datshkovsky, D. (2011 de Octubre de 2011). Neoliberal nel: liberal. *¿El agua: un derecho o un bien?* Animal Político.
- Enarson, E., Fothergill, A., & Peek, L. (2006). Gender and disaster: foundations and directions. En H. Rodriguez, E. Quarantelli, & R. Dynes, *Handbook of disaster research* (págs. 130-146). New York: Springer.
- Foro Consultivo, Científico y Tecnológico (2007). *Seminarios de Protección Civil y Desastres Inducidos por Fenómenos Naturales, Memorias*, México.
- Heinz Center for Science, Economics and Environment. (2000). *The hidden costs of coastal hazards: Implications for Risk Assessment and Mitigation*. Covello: Island Press.
- IMCO (2009), *Índice de competitividad urbana: Acciones urgentes para las ciudades del futuro*. IMCO, México D.F.
- IMCO (2010), *Índice de competitividad urbana en materia de vivienda: Viviendas para construir ciudades*. IMCO, México D.F.
- Mcguire, L., Ford, E., & Okoro, C. (2007). Natural disasters and older US adults with disabilities: implications for evacuation. *Disasters*, 49-56.
- Sagarpa. (15 de Noviembre de 2011). *Sagarpa*. Recuperado el 2011 de Noviembre de 2011, de Sagarpa:
<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/paginas/2011B698.aspx>
- World Health Organization. (2003). *Climate change and human health*. Geneva.

ⁱ Hay información asimétrica cuando una de las partes en una transacción económica o en una interacción social tiene más información sobre el desenlace que la otra.

ⁱⁱ Para darnos una idea de la intensidad de un huracán o ciclón categoría 2 en la escala de Saffir-Simpson, un ciclón categoría 5 presenta vientos mayores o iguales a 250 km/h. Para más información sobre la escala de Saffir-Simpson, ver <http://www.nhc.noaa.gov/sshws.shtml>.